

KORRELATIONEN ZWISCHEN
BELASTUNGS-EKG UND KORONARANGIOGRAPHIE

Harald Barwitz

1976



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555611_0039

Aus der Inneren Abteilung der Stiftsklinik Augustinum München

Chefarzt; Prof. Dr. D. Michel

KORRELATIONEN ZWISCHEN BELASTUNGS-EKG UND KORONARANGIOGRAPHIE

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Harald Barwitz
aus Kempten/Allgäu

1976

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin
der Universität München

Berichterstatter:	Prof.Dr.D.MICHEL
Mitberichterstatter:	Prof.Dr.H.SCHWIEGK
Dekan:	Prof.Dr.W.SPANN

Tag der mündlichen Prüfung: 6.7.1976



Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Fragestellung	1
2.	Material und Methoden	3
2.1.	Die Patienten - Charakterisierung	3
2.2.	Das Belastungs-EKG - Durchführung und Auswertung	3
2.3.	Die Koronarangiographie - Durchführung und Auswertung	4
2.4.	Die Statistik - Auswertung von Meßergebnissen und Häufigkeiten	4
3.	Untersuchungen und Ergebnisse	6
3.1.	Systematische Auswertung der Belastungs-Elektrokardiogramme auf der Suche nach geeigneten EKG-Kriterien einer angiographisch gesicherten Koronarsklerose	6
3.1.1.	Herzfrequenz	6
3.1.2.	Rhythmusstörungen	8
3.1.3.	Dauer verschiedener Periodenabschnitte	9
3.1.4.	Amplitude verschiedener Zacken	10
3.1.5.	Lagetypen	13
3.1.6.	ST-Strecken-Veränderungen	13
3.1.7.	T-Zacken-Veränderungen	23
3.2.	Korrelationen zwischen Kriterien der Belastungs-Elektrokardiogramme und Befunden der Koronarangiographie	25
3.2.1.	Ausmaß der Lichtungseinengungen in den Koronararterien	25
3.2.2.	Anzahl der stenosierten Koronararterien	27
3.2.3.	Lokalisation der stenosierenden Veränderungen	28
3.2.4.	Ausbildung von Anastomosen und Kollateralen	30
3.3.	Ergänzende Untersuchungen über Korrelationen verschiedener Faktoren mit Kriterien des Belastungs-EKG, bzw. Befunden der Koronarangiographie	31
3.3.1.	Kontraktionsanomalien und Linkshypertrophie	31
3.3.2.	Alter und Leistung	32
3.3.3.	Herzschmerz, Herzinfarkt und Risikofaktoren	33

4.	Diskussion	36
4.1.	Über Parameter der Belastungs - Elektrokardiogramme als Kriterien einer angiographisch gesicherten Koronarsklerose	36
4.2.	Über Korrelationen zwischen Kriterien der Belastungs - Elektrokardiogramme und Befunden der Koronarangiographie	40
4.3.	Über Korrelationen verschiedener Faktoren mit Kriterien des Belastungs-EKG, bzw. Befunden der Koronarangiographie	41
4.4.	Interpretationen falsch-positiver und falsch-negativer Ergebnisse	42
4.5.	Schlußfolgerung und Synopsis	44
5.	Zusammenfassung	47
6.	Literaturverzeichnis	49

1. Einleitung und Fragestellung

Nach den Statistiken der WHO sind heute die Herz- und Kreislauferkrankungen die wichtigsten Ursachen der Morbidität und Mortalität in den meisten zivilisierten und industrialisierten Ländern - ca. 40% aller Todesfälle sind durch kardiovaskuläre Erkrankungen bedingt, davon wiederum 60% durch koronare Herzerkrankungen. Die wichtigste und weitaus häufigste Ursache koronarer Herzerkrankungen sind die atherosklerotischen Gefäßwandveränderungen bei Koronarsklerose, die durch Lichtungseinengung und Elastizitätsverlust der Koronararterien zu einer Koronarinsuffizienz führen können. Die bedeutendsten klinischen Folgeerscheinungen einer Koronarinsuffizienz als einem Mißverhältnis zwischen koronararteriellem Sauerstoffangebot und myokardialen Sauerstoffbedarf sind die Angina pectoris, der Herzinfarkt und die arteriosklerotische Myokardiopathie (2,8,32).

Die möglichst frühzeitige Erkennung koronarer Herzerkrankungen ist eine Aufgabe von größter Wichtigkeit, einerseits wegen der Zunahme der Krankheitsfälle besonders in jüngeren Lebensabschnitten, andererseits wegen der Möglichkeit durch rechtzeitige Einleitung therapeutischer Maßnahmen akute Komplikationen wie den drohenden Myokardinfarkt vermeiden zu können. Auf der Suche nach geeigneten Methoden ist die prognostische Bedeutung und die diagnostische Aussagekraft von Risikofaktoren, subjektiven Herzbeschwerden und Herzinfarkt, von Befunden im Ruhe-EKG, im Belastungs-EKG und im Koronarangiogramm und Ventrikulogramm, von Ergebnissen der Bestimmungsmethoden der Hämodynamik, der Koronardurchblutung und der Myokardischämie untersucht worden. Dabei sind das Belastungs-EKG als Methode zur Erkennung einer latenten Koronarinsuffizienz und die Koronarangiographie zur Darstellung koronarsklerotischer Gefäßwandveränderungen in den Mittelpunkt des Interesses gerückt; gerade in letzter Zeit ist in einer Reihe von Untersuchungen versucht worden, die diagnostische Treffsicherheit des Belastungs-EKG durch Korrelation mit der Koronarangiographie zu verbessern (5,6,12,19,21,24,26, 27,29,u.a.).

Auch die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit diesem Problemkreis durch die Auseinandersetzung mit den folgenden Fragestellungen:

- 1) Welche Parameter der systematisch ausgewerteten Belastungs-Elektrokardiogramme eignen sich als Kriterien für eine koronarangiographisch gesicherte Koronarsklerose?
- 2) Welche Befunde der Koronarangiogramme korrelieren mit den Kriterien der Belastungs-Elektrokardiogramme?
- 3) Welche Bedeutung hat das Belastungs-EKG für die frühe Diagnose koronarer Herzerkrankungen?

2. Material und Methoden

2.1. Die Patienten - Charakterisierung

Bei 135 Patienten mit uncharakteristischen Herzschmerzen (in 75 Fällen), typischer Angina pectoris (in 31 Fällen) und unklaren Veränderungen im Ruhe-EKG wie Erregungsrückbildungs- und Rhythmusstörungen (in 29 Fällen) wurde eine diagnostische Abklärung gesucht. Es waren 121 Männer und 14 Frauen; das Alter lag zwischen 23 und 66 Jahren bei einem Durchschnittswert von 48 Jahren; 35 Patienten hatten einen abgelaufenen Herzinfarkt. Bei allen diesen Patienten wurde

- 1) ein Belastungs-EKG angefertigt,
- 2) eine Koronarangiographie durchgeführt,
- 3) die Verabreichung herzwirksamer Medikamente, bei denen mit einer Verfälschung der Untersuchungsergebnisse gerechnet werden mußte (wie Digitalis-Präparate oder Beta-Sympathikolytika), in pharmakokinetisch ausreichendem zeitlichem Abstand vor der Untersuchung eingestellt.

2.2. Das Belastungs-EKG - Durchführung und Auswertung

Die Belastung wurde bei allen Patienten auf einem mechanisch gebremsten, drehzahlabhängigen Fahrradergometer im Sitzen durchgeführt. Dabei wurde die in Wattzahlen dimensionierte Belastungsgröße stufenweise in 2- bis 3-Minuten-Abständen bis zu einem Wert gesteigert, bei dem eine nach Alter und Geschlecht standardisierte Pulsfrequenz erreicht war (Faustregel für die maximale Pulsfrequenz: $220 - \text{Lebensalter}$) oder limitierende Symptome auftraten (Erschöpfung, Atemnot, Schwindel, Beinschmerzen, Herzschmerzen, Frequenz- und Blutdruckabfall bei zunehmender Belastung, schwerwiegende EKG-Veränderungen wie ischämische ST-Senkungen über 2 mm oder gehäufte Extrasystolen und Blockbilder). Die EKG-Aufzeichnungen erfolgten:

- 1) vor Belastung mit den Ableitungen I, II, III, V₂, V₄ und V₅
- 2) während Belastung mit Ableitung V₅, jeweils beim Umschalten auf eine höhere Belastungsstufe
- 3) nach Belastung mit den Ableitungen I, II, III, V₂, V₄ und V₅ jeweils 1, 2, 4 und 6 Minuten nach Belastungsende in liegender Position.

Bei der EKG-Auswertung bearbeitete ich die Aufzeichnungen 1' nach Belastung besonders ausführlich, während die übrigen Aufzeichnungen vergleichend und ergänzend berücksichtigt wurden. Die Belastungs-Elektrokardiogramme der Patienten wertete ich systematisch aus, wobei Herzfrequenz, Rhythmusstörungen, Dauer verschiedener Periodenabschnitte, Amplitude verschiedener Zacken, Lagetypen und Veränderungen der ST-Strecken und T-Zacken besondere Berücksichtigung fanden und nach Korrelationen mit koronarangiographischen Befunden untersucht wurden.

2.3. Die Koronarangiographie - Durchführung und Auswertung

Die selektive Koronarangiographie erfolgte durch Einführen eines JUDKINS-Katheters nach der SELDINGER-Methode und selektiver Darstellung des linken und rechten Koronarsystems in mehreren Projektionen mit jeweils 4-8 ml 60%-igem Kontrastmittel. Anschließend wurde eine linksseitige Ventrikulographie durch Einführen eines Pigtail-Katheters und Injektion von 70-80 ml 60%-igem Kontrastmittel durchgeführt. Die selektive Darstellung des Koronarsystems und des linken Ventrikels wurde von einer Bildverstärker-Fernsehkette aufgenommen, von einer 35-mm-Filmkamera mit einer Bildfolge von mindestens 50 Bildern pro Sekunde aufgezeichnet und schließlich ausgewertet. Dabei fanden besondere Berücksichtigung das Vorhandensein, der Schweregrad und die Lokalisation von koronarsklerotischen Gefäßwandveränderungen, die Ausbildung von Kollateralen und Anastomosen und die Beurteilung von Größe und Kontraktionsvermögen des linken Ventrikels. Die Auswertung dieser Untersuchungen erlaubte eine Einteilung in verschiedene Patientenkollektive, die auf Korrelationen mit den jeweiligen Belastungs-Elektrokardiogrammen statistisch getestet wurden.

2.4. Die Statistik - Auswertung von Meßergebnissen und Häufigkeiten

Mit der statistischen Auswertung der Untersuchungsergebnisse versuchte ich signifikante Unterschiede von EKG-Parametern bei Patientengruppen aufzudecken, die sich in bestimmten Merkmalen voneinander unterschieden. Entsprechend der Unterscheidung

der EKG-Parameter in gemessene (kontinuierliche) und gezählte (binäre) Beobachtungen wurden zwei Arten statistischer Tests durchgeführt. Bei der Beurteilung von Meßgrößen berechnete ich in üblicher Weise Mittelwerte, Standardabweichungen, Varianzen und Freiheitsgrade; daran schloß sich jeweils ein F-Test für den Vergleich zweier Varianzen unabhängiger Stichproben an und dann wurde je nach Gleichheit oder Ungleichheit der Varianzen der betreffende t-Test für den Vergleich zweier Mittelwerte unabhängiger Stichproben angewendet; den ermittelten t-Wert prüfte ich dann schließlich entsprechend dem betreffenden Freiheitsgrad anhand einer statistischen Tabelle (33) auf dem 5%-(*), 1%-(**) und 0.1%-(***)-Niveau. Bei der Beurteilung von Häufigkeiten berechnete ich in üblicher Weise Prozentanteile und Freiheitsgrade; daran schloß sich jeweils ein Vierfelder- χ^2 -Test auf Unabhängigkeit oder Homogenität an, der ermittelte χ^2 -Wert wurde dann schließlich entsprechend dem betreffenden Freiheitsgrad anhand einer statistischen Tabelle (33) auf dem 5%-(*), 1%-(**) und 0.1%-(***)-Niveau geprüft. Die Berechnungen führten wir auf einer Anlage für elektronische Datenverarbeitung unter Verwendung der Programmiersprache FOCA7 durch (Digital-Equipment, PDP-15).

3. Untersuchungen und Ergebnisse

3.1. Systematische Auswertung der Belastungs-Elektrokardiogramme auf der Suche nach geeigneten EkG-Kriterien einer angiographisch gesicherten Koronarsklerose

Im ersten Teil der Untersuchungen wertete ich die Belastungs-Elektrokardiogramme der Patienten systematisch aus; damit konnte die Aussagekraft der folgenden EKG-Parameter als Kriterien für eine angiographisch gesicherte Koronarsklerose statistisch getestet werden:

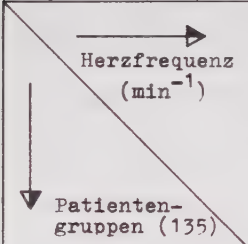
- 1) Herzfrequenz,
- 2) Rhythmusstörungen.
- 3) Dauer verschiedener Periodenabschnitte.
- 4) Amplitude verschiedener Zacken.
- 5) Lagetypen,
- 6) ST-Strecken-Veränderungen,
- 7) T-Zacken-Veränderungen.

Die selektive Darstellung des Koronarsystems zeigte bei 56 Patienten (46 Männer, 10 Frauen, Durchschnittsalter 45 Jahre) normale Verhältnisse, während bei 79 Patienten (75 Männer, 4 Frauen, Durchschnittsalter 49 Jahre) atherosklerotische Wandveränderungen zu erkennen waren; in 25 Fällen (22 Männer, 3 Frauen, Durchschnittsalter 47 Jahre) mit einer Lichtungseinsengung geringer als 50%, in 54 Fällen (53 Männer, 1 Frau, Durchschnittsalter 51 Jahre) über 50%. Dementsprechend teilte ich die 135 Patienten in vier Gruppen ein und prüfte Korrelationen mit den obengenannten EKG-Parametern auf statistische Signifikanz.

3.1.1. Herzfrequenz

Zur Bestimmung der Herzfrequenz wurde der Abstand zweier R-Zacken im EKG über mehrere Perioden hinweg ausgemessen und daraus der mittlere RR-Abstand ermittelt. Damit konnte die Herzfrequenz nach folgender Formel berechnet werden: $\text{Frequenz (min}^{-1}\text{)} = 60/\text{RR-Abstand(sec)}$; oder mit Hilfe eines Kardiometers nomographisch ermittelt werden. Die Herzfrequenzen wurden auf diese Art in Ruhe, während maximaler Belastung und 1' nach Belastung bestimmt, und sowohl die Absolut- als auch die Relativwerte der einzelnen Patientengruppen einander gegenübergestellt (Tab. 1).

Der Anstieg der Herzfrequenz bei Belastung ist abhängig von Leistung, Alter, Geschlecht, Körperbau und Trainingszustand (10,14). Zwischen steigender Herzfrequenz und zunehmender Leistung besteht eine lineare Beziehung (10,14). Aus diesem Grund wurden die Quotienten aus dem Frequenzanstieg während maximaler Belastung, bzw. 1' nach Belastung und der maximalen Ergometerbelastung (Watt) für die einzelnen Patientengruppen ermittelt und statistisch getestet. Dabei erwies sich der binäre EKG-Parameter: Frequenz 1' nach Belastung - Ruhefrequenz (min^{-1})/max. Ergometerbel. (Watt) kleiner oder gleich 0.23, der aus der Meßreihe empirisch gefunden worden war, als der statistisch aussagekräftigste, wobei sich zwischen der Patientengruppe ohne und der mit Koronarsklerose eine signifikante Häufigkeitsverteilung auf dem 0.1%-(***)-Niveau ergab (Tab.2).

	Herzfrequenz in Ruhe	Herzfrequenz während maximaler Belastung	Herzfrequenzanstieg während max. Bel. (Bel. - Ruhe)	Herzfrequenz 1' nach Bel.	Herzfrequenzanstieg (1' nach Bel. - in Ruhe)
Patienten mit normalem Koronarsystem (56)	70	153	83	112	42
Patienten mit eingengtem Koronarsystem (79)	67	131	64	93	26
Patienten mit Lichtungseinengungen $\leq 50\%$ (25)	71	146	75	107	36
Patienten mit Lichtungseinengungen $> 50\%$ (54)	66	125	59	87	21

Tab.1: Darstellung der Herzfrequenzwerte vor, während und nach Belastung bei drei koronarangiographisch eingeteilten Patientengruppen.

	Maximale Ergometerbelastung (Watt)	Herzfrequenzanstieg während max. Bel./ max. Ergometerbel. (Watt ⁻¹ x min ⁻¹)	Herzfrequenzanstieg 1' nach Bel./ max. Ergometerbel. (Watt ⁻¹ x min ⁻¹)	Herzfrequenzanstieg 1' nach Bel./ max. Ergometerbel. ≤ 0.23 (Watt ⁻¹ x min ⁻¹)
Patienten mit normalem Koronar- system (56)	155	0.535	0.271	18 (32%)
Patienten mit eingesenktem Koronarsystem (79)	135	0.474	0.192 t=2.963 **	55 (70%) $\chi^2=18.534$ ***
Patienten mit Lichtungseinengungen $\leq 50\%$ (25)	156	0.481	0.231	17 (68%) $\chi^2=9.056$ **
Patienten mit Lichtungseinengungen $> 50\%$ (54)	124	0.471	0.169 t=3.489 ***	38 (70%) $\chi^2=16.075$ ***

Tab.2.: Darstellung des Frequenzanstiegs pro Leistungseinheit während und nach Belastung bei drei koronarangiographisch eingeteilten Patientengruppen

5.1.2. Rhythmusstörungen

Bei der EKG-Auswertung wurde schwerwiegenden Rhythmusstörungen wie gehäuft auftretenden supraventrikulären oder ventrikulären Extrasystolen, AV- und Schenkelblockbildern besondere Beachtung geschenkt. Eine getrennte Untersuchung für einzelne Arten von Rhythmusstörungen war wegen zu kleiner Patientenzahlen nicht möglich, deshalb wurde nur summarisch das Vorkommen von Rhythmusstörungen in Ruhe, während oder nach Belastung, und das Auftreten infolge Belastung festgehalten. Eine statistisch signifikante Häufigkeitsverteilung konnte jedoch für die bereits erwähnten Patientengruppen nicht festgestellt werden (Tab.3).

Patienten- gruppen (135) ↓ → Rhythmusstö- rungen	bereits in Ruhe vor- handen	während oder nach Belastung vorhanden	infolge Belastung aufgetreten
Patienten mit normalem Koronar- system (56)	10 (18%)	22 (39%)	14 (25%)
Patienten mit eingengegtem Koro- narsystem (79)	11 (14%)	26 (33%)	17 (22%)
Patienten mit Lichtungseinengun- gen $\leq 50\%$ (25)	2 (8%)	8 (32%)	7 (28%)
Patienten mit Lichtungseinengun- gen $> 50\%$ (54)	9 (17%)	18 (33%)	10 (19%)

Tab.3: Darstellung der Häufigkeit von Rhythmusstörungen vor, während und nach Belastung bei drei koronar-angiographisch eingeteilten Patientengruppen

3.1.3. Dauer verschiedener Periodenabschnitte

Bei der Bestimmung der Zeitdauer einzelner Intervalle wurden in den Elektrokardiogrammen in Ruhe und 1' nach Belastung jeweils die PQ-, QRS- und QT-Dauer ausgemessen (Abb.1); und zwar in den jeweiligen Herzperioden mit einem mittleren RR-Abstand. Anschließend wurden noch die Werte der korrigierten oder relativen QT-Dauer in Ruhe und 1' nach Belastung ermittelt; dabei wurde die prozentuale Abweichung der gemessenen QT-Dauer von der für die betreffende Frequenz normalen QT-Dauer dem Nomogramm eines Eka-meters entnommen. Weder die Gegenüberstellung der Absolutwerte für PQ-, QRS- und QT-Dauer noch die Berücksichtigung der Frequenzab-hängigkeit in den Relativwerten der QT-Dauer zeigte statistisch signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Patientengruppen (Tab. 4)

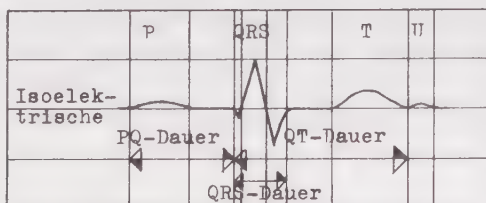
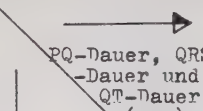


Abb.1: Schematisches normales Elektrokardiogramm (eingetragen sind die untersuchten Intervalle und Zacken)

 PQ-Dauer, QRS-Dauer und QT-Dauer (sec) ▼ Patienten- gruppen (135)	PQ-Dauer in Ruhe	PQ-Dauer 1' nach Bel.	QRS-Dauer in Ruhe	QRS-Dauer 1' nach Bel.	QT-Dauer in Ruhe	QT-Dauer 1' nach Bel.	relative QT-Dauer in Ruhe (%)	relative QT-Dauer 1' nach Bel. (%)
Patienten mit normalem Koronarsystem (56)	0.15	0.13	0.09	0.09	0.37	0.31	100	104
Patienten mit eingengtem Koronarsystem (79)	0.15	0.14	0.09	0.09	0.39	0.33	104	103
Patienten mit Lichtungseinengungen $\leq 50\%$ (25)	0.15	0.13	0.09	0.08	0.37	0.30	101	101
Patienten mit Lichtungseinengungen $> 50\%$ (54)	0.15	0.14	0.09	0.09	0.39	0.34	105	104

Tab.4: Darstellung der PQ-, QRS- und QT-Dauer vor und nach Belastung bei drei koronarangiographisch eingeteilten Patientengruppen

3.1.4. Amplitude verschiedener Zacken

Bei der Bestimmung der Amplitude einzelner Zacken wurden in den Elektrokardiogrammen in Ruhe und 1' nach Belastung jeweils die Höhe der P-Zacke in II, der q-Zacke in III, des Sokolow-Indexes ($S_2 + R_5$), der R-Zacke und der U-Welle in der Ableitung mit dem höchsten Ausschlag im Vergleich zur Isoelektrischen mit der PQ-Strecke als Bezugsniveau ausgemessen (Abb.1). Die Gegenüberstellung der Amplitudenwerte in Ruhe, der Amplitudenveränderungen (1' nach Belastung - in Ruhe) und der Häufigkeitsverteilungen bei empirisch festgelegten Grenzwerten ergab zwischen den einzelnen Patientengruppen statistisch signifikante Unterschiede für Meßwerte und Häufigkeitsverteilungen bis auf das 0.1%-(***)-Niveau. Besonders aussagekräftig erschienen dabei die beiden binären Parameter der P- und der R-Zacke in dem Sinne, daß eine Zunahme der P-Amplitude um mehr als 0.5 mm, bzw. eine Zunahme der T-Amplitude bei Patienten mit koronarsklerotisch eingengtem Gefäßsystem signifikant seltener war. (Tab. 5,6).

		P-Amplitude in Ruhe	P-Amplitude 1' nach Bel. - in Ruhe	P-Amplituden- veränderung ≤ 0.5	Q-Amplitude in Ruhe	Q-Amplitude 1' nach Bel. - in Ruhe	Q-Amplituden- veränderung ≤ 0.0
Patienten- gruppen (135)							
Patienten mit normalem Koronar- system (56)		0.82	0.72	15 (27%)	0.26	0.34	28 (50%)
Patienten mit eingesenkttem Koro- narsystem (79)		0.80	0.42 $t=2.949$ **	60 (76%) $\chi^2=32.079$ ***	0.56 $t=2.083$ *	0.07 $t=3.038$ **	63 (80%) $\chi^2=13.199$ ***
Patienten mit Nichtungsseinenun- gen $\leq 50\%$ (25)		0.79	0.59	16 (64%) $\chi^2=10.132$ **	0.37	0.100 $t=3.032$ **	21 (84%) $\chi^2=8.360$ **
Patienten mit Nichtungsseinenun- gen $>50\%$ (54)		0.80	0.32 $t=3.494$ ***	44 (81%) $\chi^2=33.072$ ***	0.69 $t=2.150$ *	0.05 $t=3.035$ **	42 (79%) $\chi^2=9.167$ **

Tab.5: Darstellung der P- und Q-Amplitude vor und nach Belastung bei drei koronarangiographisch eingeteilten Patientengruppen.

Sokolow-Index, T-, U-Amplitude (mm)	Sokolow-Index in Ruhe	Sokolow-Index 1' nach Bel. - in Ruhe	T-Amplitude in Ruhe	T-Amplitude 1' nach Bel. - in Ruhe	T-Amplituden- veränderung ≤ 0.0	U-Amplituden- veränderung ≤ 0.0
Patienten- gruppen (135)						
Patienten mit normalem Koronar- system (56)	26.29	0.64	4.61	1.93	17 (30%)	1 (2%)
Patienten mit eingesenkttem Koro- narsystem (79)	24.97	1.16 $t=2.307$ *	4.69	0.78 $t=2.386$ *	54 (68%) $\chi^2=18.977$ ***	8 (10%)
Patienten mit Lichtungsseinenun- gen $\leq 50\%$ (25)	25.45	0.10	5.20	0.13 $t=3.342$ **	21 (84%) $\chi^2=19.970$ ***	2 (8%)
Patienten mit Lichtungsseinenun- gen $> 50\%$ (54)	24.71	1.71 $t=2.837$ **	4.42	1.23	33 (61%) $\chi^2=10.487$ **	6 (11%)

Tab. 6: Darstellung des Sokolow-Indexes, der T- und U-Amplitude vor und nach Belastung bei drei koronarangiographisch eingeteilten Patientengruppen.

3.1.5. Lagetypen

Patienten- gruppen (135) Links-drehung infolge Belastung Rechts-drehung infolge Belastung		
Patienten mit normalem Koronarsystem (56)	0(0%)	16(29%)
Patienten mit eingengtem Koronarsystem (79)	3(4%)	10(12%)
Patienten mit Lichtungseinengungen $\leq 50\%$ (25)	0(0%)	3(11%)
Patienten mit Lichtungseinengungen $> 50\%$ (54)	3(6%)	7(13%)

Tab.7: Darstellung der Häufigkeit eines Lagetyppwandels

Die Beurteilung der Lagetypen erfolgte in allgemein üblicher Weise aus der Amplitude des QRS-Komplexes in den bipolaren Extremitätenableitungen (7,34). Auf diese Weise wurden die Lagetypen (Rechts-, Steil-, Mittel- und Linkstyp) in Ruhe, während Belastung und 1' nach Belastung ermittelt; ein plötzlicher Wandel des Lagetyps infolge Belastung im Sinne einer Links- oder Rechtsdrehung wurde festgehalten, ergab jedoch keine signifikanten Häufigkeitsunterschiede für die verschiedenen Patientengruppen (Tab. 7).

3.1.6. ST-Strecken-Veränderungen

Bei der Beurteilung von ST-Strecken-Veränderungen wurden Abgang, Form, Niveau, Senkungs-Quotient und zeitlicher Verlauf untersucht.

Für die Ermittlung des ST-Strecken- Abgangs wurde das Ende der S-Zacke als annähernd übereinstimmender Wendepunkt in den sechs verwendeten Ableitungen bestimmt und die Abgangshöhe im Vergleich zur Isoelektrischen mit der PQ-Strecke als Bezugsniveau beurteilt (Abb.2). Es wurde dann die Häufigkeit eines gesenkten ST-Abgangs in mindestens einer Ableitung in Ruhe und die Senkung des ST-Abgangs in mindestens einer Ableitung, bzw. in mindestens einer Extremitäten- oder Brustwand-Ableitung 1' nach Belastung gegenüber in Ruhe ermittelt. Dabei ergab sich eine statistisch signifikante Häufigkeitsverteilung mit einer größeren Anzahl belastungsinduzierter ST-Abgangs-Senkungen bei Patienten mit koronarsklerotischen Gefäßwandveränderungen, jedoch wurde die Aussagekraft dieses Parameters geschmälert durch die große Zahl falsch-positiver Ergebnisse (Tab.8).

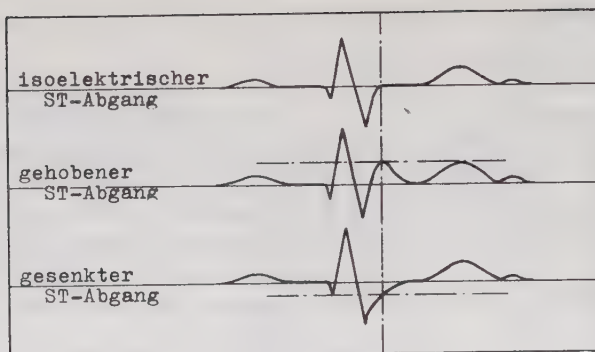


Abb.2: Schematische Elektrokardiogramme
mit verschiedenen ST-Abgangsformen

→ ST-Abgang ↓ Patienten- gruppen (135)	ST-Abgang gesenkt in mindestens einer Ableitung in Ruhe	ST-Abgangs-Senkung in mind. einer Extrem.-Abl. 1' nach Bel. gegen in Ruhe	ST-Abgangs-Senkung in mind. einer Brustw.-Abl. 1' nach Bel. gegen in Ruhe	ST-Abgangs-Senkung in mind. einer Ableitung 1' nach Bel. gegen in Ruhe
Patienten mit normalem Koronar- system (56)	22(39%)	35(63%)	37(66%)	44(79%)
Patienten mit eingesenkttem Koron- arsystem (79)	39(49%)	65(82%) $\chi^2 = 6.675$ **	71(90%) $\chi^2 = 11.604$ ***	76(96%) $\chi^2 = 10.314$ **
Patienten mit Lichtungseinengun- gen $\leq 50\%$ (25)	12(45%)	21(84%) $\chi^2 = 3.744$	21(84%) $\chi^2 = 2.733$	24(96%) $\chi^2 = 3.897$ *
Patienten mit Lichtungseinengun- gen $> 50\%$ (54)	27(50%)	44(81%) $\chi^2 = 4.894$ *	50(93%) $\chi^2 = 11.693$ ***	52(96%) $\chi^2 = 7.776$ **

Tab.8: Darstellung der Häufigkeit von ST-Abgangs-Senkungen
infolge Belastung bei drei koronarangiographisch einge-
teilten Patientengruppen.

Bei der Bestimmung der ST-Strecken-Form wurden Abweichungen von der isoelektrischen Verlaufsform, wie ascendierende, muldenförmige, horizontale und deszendierende ST-Senkung, bzw. horizontale und deszendierende ST-Hebung gesucht (Abb.3). Die Untersuchung der Häufigkeit von mindestens einer dieser Veränderungen in einer Ableitung in Ruhe oder 1' nach Belastung gegenüber in Ruhe ergab zwar eine signifikant größere Anzahl bei den Patientengruppen mit koronarsklerotischen Gefäßveränderungen, jedoch war die Zahl falsch-positiver Ergebnisse mit bis zu 82% außerordentlich hoch. Aus diesem Grund wurden in den darauffolgenden Untersuchungen ascendierende ST-Senkungen, die in 79% aller Fälle in mindestens einer Ableitung 1' nach Belastung gegenüber in Ruhe aufgetreten waren, und horizontale oder deszendierende ST-Hebungen, die nur in 7% der Fälle hauptsächlich als "Spiegelbild der ST-Senkung in einer anderen Ableitung" vorgekommen waren, nicht mehr berücksichtigt. Die Untersuchungsergebnisse über das Vorliegen muldenförmiger, horizontaler oder deszendierender ST-Senkungen 1' nach Belastung gegenüber in Ruhe in mindestens einer Extremitäten- oder Brustwandableitung zeigten statistisch signifikante Unterschiede bis auf das 0.1% ***-Niveau für die Häufigkeitsverteilungen zwischen den verschiedenen Patientengruppen (Tab. 9).

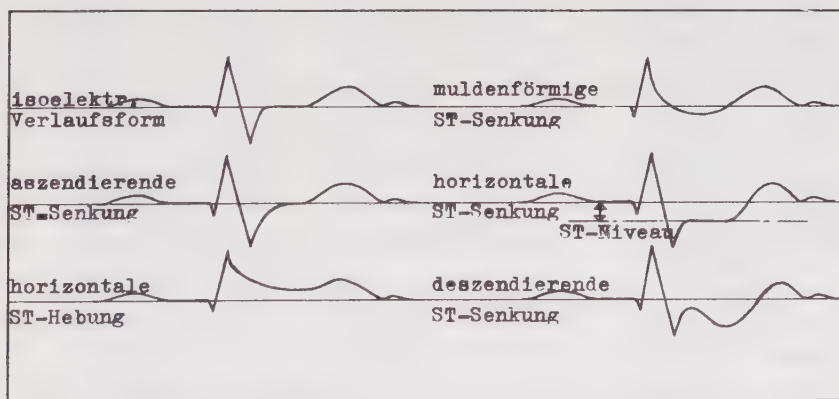
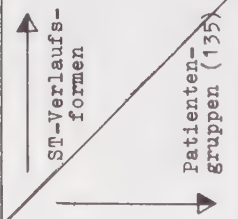


Abb.3: Schematische Elektrokardiogramme mit verschiedenen ST-Verlaufsformen

											
		In Ruhe: aszend., muldent., horizont.	-Senkung oder -Hebung in mind. einer Abl.	1 ^o nach Bel. gegen in Ruhe: aszend., muldent., horizont. oder deszend. ST-Senkung oder -Hebung in mind. einer Abl.	1 ^o nach Bel. gegen in Ruhe: muldent., horizont. oder deszend. ST-Senkung in mind. einer Abl.	1 ^o nach Bel. gegen in Ruhe: muldent., horizont. oder deszend. ST-Senkung in mind. einer Abl.	1 ^o nach Bel. gegen in Ruhe: muldent., horizont. oder deszend. ST-Senkung in mind. einer Abl.	1 ^o nach Bel. gegen in Ruhe: muldent., horizont. oder deszend. ST-Senkung in mind. einer Abl.	1 ^o nach Bel. gegen in Ruhe: muldent., horizont. oder deszend. ST-Senkung in mind. einer Abl.	1 ^o nach Bel. gegen in Ruhe: muldent., horizont. oder deszend. ST-Senkung in mind. einer Abl.	1 ^o nach Bel. gegen in Ruhe: muldent., horizont. oder deszend. ST-Senkung in mind. einer Abl.
Patienten mit normalem Koronarsystem (56)	Patienten-Gruppen (135)	32 (58%)	46 (82%)	31 (55%)	25 (45%)	9 (16%)	18 (37%)	2 (4%)			
Patienten mit eingeengtem Koronarsystem (79)		50 (63%)	76 (96%) $\chi^2 = 7.444$ **	70 (89%) $\chi^2 = 19.228$ ***	60 (76%) $\chi^2 = 13.773$ ***	35 (44%) $\chi^2 = 11.889$ ***	59 (75%) $\chi^2 = 24.201$ ***	18 (23%) $\chi^2 = 9.586$ **			
Patienten mit Lichtungsseignungen $\leq 50\%$ (25)		13 (52%)	24 (96%) $\chi^2 = 2.828$	23 (92%) $\chi^2 = 10.443$ **	17 (68%) $\chi^2 = 3.777$	11 (44%) $\chi^2 = 7.250$ **	19 (76%) $\chi^2 = 13.398$ ***	2 (8%)			
Patienten mit Lichtungsseignungen $> 50\%$ (54)		37 (68%)	52 (96%) $\chi^2 = 5.666$ *	47 (87%) $\chi^2 = 13.375$ ***	43 (80%) $\chi^2 = 14.257$ ***	24 (44%) $\chi^2 = 10.539$ **	40 (74%) $\chi^2 = 19.392$ ***	16 (30%) $\chi^2 = 13.640$ ***			

Tab. 9: Darstellung der Häufigkeit von Veränderungen der ST-Verlaufsformen infolge Belastung bei drei koronarangiographisch eingeteilten Patientengruppen.

Das ST-Niveau wurde bei annähernd horizontalem Verlauf als Höhendifferenz zur Isoelektrischen mit der P₁-Strecke als Bezugslinie gemessen (Abb.3). Dabei wurde jeweils die Ableitung mit dem tiefsten horizontalen Verlauf entsprechend dem größten Meßwert für das ST-Niveau verwendet und die Meßwerteinheit für "in Ruhe", "1' nach Belastung" und die Differenz zwischen "1' nach Belastung und in Ruhe" ausgewertet. Die Gegenüberstellung der Mittelweltergebnisse zeigte besonders für die Meßwerte 1' nach Belastung gegenüber in Ruhe statistisch signifikante Unterschiede auf dem 0,1%-***-Niveau, wobei der Mittelwert für die Patientengruppe mit normalem Koronarsystem bei etwa 0,3 mm lag, hingegen für die Patienten mit eingeengtem Koronarsystem bei etwa 0,9 mm (Tab.10). Auf Grund dieser Ergebnisse wurden für die Untersuchung binärer ST-Niveau-Parameter 0,5 mm und 1,0 mm als Grenzwerte der ST-Niveau-Senkung 1' nach Belastung gegenüber in Ruhe bestimmt. Dabei wurde die Häufigkeit der ST-Niveau-Senkung in Extremitäten- und Brustwand-Ableitungen getestet; es ergab sich

	ST-Niveau in Ruhe	ST-Niveau 1' nach Bel.	ST-Niveau 1' nach Bel. - - in Ruhe
Patienten mit normalem Koronar- system (56)	0.22	0.46	0.27
Patienten mit eingeengtem Koro- narsystem (79)	0.23	1.05 t=4.901 ***	0.91 t=6.711 ***
Patienten mit Lichtungs-einengun- gen ≤ 50% (25)	0.20	0.83 t=2.700 **	0.69 t=4.156 ***
Patienten mit Lichtungs-einengun- gen > 50% (54)	0.24	1.16 t=5.264 ***	1.04 t=6.533 ***

Tab.10: Darstellung der Meßwerte für das ST-Niveau vor und nach Belastung bei drei koronarangiographisch eingeteilten Patientengruppen.

eine größere Häufigkeit der ST-Niveau-Senkung über 1.0 mm in mindestens einer Extremitäten- oder Brustwand-Ableitung 1' nach Belastung gegenüber in Ruhe für die drei Patientengruppen mit koronarsklerotischen Gefäßwandveränderungen gegenüber der Patientengruppe mit normalem Koronarsystem mit statistischer Signifikanz auf dem 0.1%-***-Niveau (Tab.11).

ST-Niveau-Senkung (mm)	Patientengruppen (135)	1' nach Bel. - in Ruhe in mind. einer Extremit.-Abl. ≥ 0.5	1' nach Bel. - in Ruhe in mind. einer Extremit.-Abl. ≥ 1.0	1' nach Bel. - in Ruhe in mind. einer Brustw.-Abl. ≥ 0.5	1' nach Bel. - in Ruhe in mind. einer Brustw.-Abl. ≥ 1.0	1' nach Bel. - in Ruhe in mind. einer Abl. ≥ 1.0
Patienten mit normalem Koronarsystem (56)	18 (32%)	1 (2%)	16 (29%)	2 (4%)	2 (4%)	2 (4%)
Patienten mit eingeeengtem Koronarsystem (79)	49 (62%) $\chi^2 = 11.706$ ***	27 (34%) $\chi^2 = 20.916$ ***	54 (68%) $\chi^2 = 20.775$ ***	38 (48%) $\chi^2 = 31.165$ ***	42 (53%) $\chi^2 = 36.686$ ***	42 (53%) $\chi^2 = 36.686$ ***
Patienten mit Lichtungsöffnungen $\leq 50\%$ (25)	14 (56%) $\chi^2 = 4.116$ *	5 (20%)	18 (72%) $\chi^2 = 13.384$ ***	7 (28%)	8 (32%) $\chi^2 = 12.908$ ***	8 (32%) $\chi^2 = 12.908$ ***
Patienten mit Lichtungsöffnungen $> 50\%$ (54)	35 (65%) $\chi^2 = 11.754$ ***	22 (41%) $\chi^2 = 25.226$ ***	36 (67%) $\chi^2 = 16.006$ ***	31 (57%) $\chi^2 = 37.942$ ***	34 (63%) $\chi^2 = 44.044$ ***	34 (63%) $\chi^2 = 44.044$ ***

Tab.11: Darstellung der Häufigkeit von ST-Niveau-Senkungen über 0.5 mm, bzw. 1.0 mm 1' nach Belastung gegenüber in Ruhe bei drei koronarangiographisch eingeteilten Patientengruppen.

Zur Beurteilung der Dauer eines negativen ST-Strecken-
- Verlaufs wurde der sog. ST-Senkungs-Quotient aus dem unterhalb
der Isoelektrischen verlaufenden Anteil der ST-Strecke und der
QT-Dauer gebildet (Abb.4)(modifiziert in 18,25).

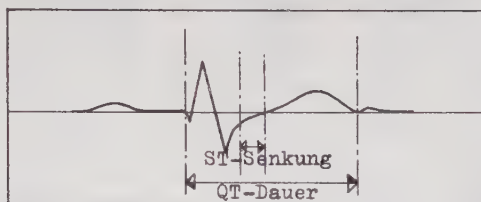
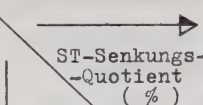
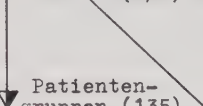
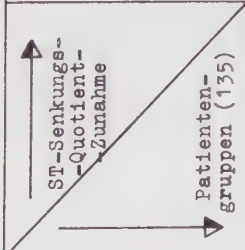


Abb.4: Schematisches Elektrokardiogramm
zur Definition des
ST-Senkungs-Quotienten =
$$= \frac{\text{ST-Senkung}}{\text{QT-Dauer}} \times 100 \%$$

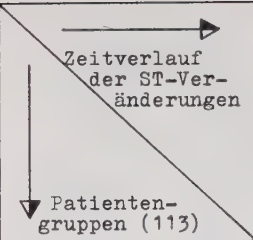
Dabei wurde jeweils die Ableitung mit dem größten Quotienten verwendet und die Meßwertreihen für "in Ruhe", "1' nach Belastung" und die Differenz zwischen "1' nach Belastung und in Ruhe" ausgewertet. Die Gegenüberstellung der Mittelweltergebnisse zeigte besonders für die Meßwerte 1' nach Belastung gegenüber in Ruhe statistisch signifikante Unterschiede auf dem 0.1%-***-Niveau, wobei der Mittelwert für die Patientengruppe mit normalem Koronarsystem bei etwa 14%, für die Patientengruppe mit eingengtem Koronarsystem bei etwa 26% lag (Tab.12), so daß sich als Grenzwerte für eine Untersuchung über Häufigkeitsverteilungen 15% und 25% anboten. Dabei wurde die Häufigkeit einer Zunahme des ST-Senkungs-Quotienten um mehr als 15%, bzw. 25% in mindestens einer Extremitäten- oder Brustwand-Ableitung 1' nach Belastung gegenüber in Ruhe für die verschiedenen Patientengruppen bestimmt; es ergab sich eine deutlich größere Häufigkeit für die Patientengruppen mit Koronarsklerose. Die größte statistische Signifikanz auf dem 0.1%-***-Niveau erbrachte der EKG-Parameter, der eine Zunahme des ST-Senkungs-Quotienten um mehr als 25% in einer Ableitung 1' nach Belastung gegenüber in Ruhe forderte (Tab.13).

 ST-Senkungs- -Quotient (%)  Patienten- gruppen (135)	ST-Senkungs- -Quotient in Ruhe	ST-Senkungs- -Quotient 1' nach Bel.	ST-Senkungs- -Quotient 1' nach Bel. in Ruhe
Patienten mit normalem Koronar- system (56)	15.43	20.55	14.48
Patienten mit eingengtem Koro- narsystem (79)	15.02	30.24 t=5.722 ***	26.24 t=6.245 ***
Patienten mit Lichtungseinengun- gen $\leq 50\%$ (25)	11.60	29.00 t=3.539 ***	25.20 t=4.279 ***
Patienten mit Lichtungseinengun- gen $> 50\%$ (54)	16.82	30.90 t=5.957 ***	26.79 t=5.693 ***

Tab.12: Darstellung der Meßwerte für ST-Senkungs-
-Quotienten vor und nach Belastung bei drei
koronarangiographisch eingeteilten Patientengruppen

 ST-Senkungs- -Quotient- -Zunahme	Patienten- gruppen (135)				
	1' nach Bel. - in Ruhe Extrem.-Abl. $\geq 15\%$	1' nach Bel. - in Ruhe in mind. einer Extrem.-Abl. $\geq 25\%$	1' nach Bel. - in Ruhe in mind. einer Brustw.-Abl. $\geq 15\%$	1' nach Bel. - in Ruhe in mind. einer Brustw.-Abl. $\geq 25\%$	1' nach Bel. - in Ruhe in mind. einer Abl. $\geq 25\%$
Patienten mit normalem Koronar- system (56)	26 (46%) $\chi^2 = 35.423$ ***	8 (14%) $\chi^2 = 33.661$ ***	23 (41%) $\chi^2 = 18.212$ ***	8 (14%) $\chi^2 = 29.158$ ***	10 (18%) $\chi^2 = 36.879$ ***
Patienten mit eingeeengtem Koro- narsystem (79)	73 (92%) $\chi^2 = 35.423$ ***	51 (65%) $\chi^2 = 33.661$ ***	61 (77%) $\chi^2 = 18.212$ ***	48 (61%) $\chi^2 = 29.158$ ***	56 (71%) $\chi^2 = 36.879$ ***
Patienten mit Lichtungsseinnun- gen $\leq 50\%$ (25)	24 (96%) $\chi^2 = 17.978$ ***	14 (56%) $\chi^2 = 15.202$ ***	21 (84%) $\chi^2 = 12.837$ ***	15 (60%) $\chi^2 = 17.765$ ***	16 (64%) $\chi^2 = 16.884$ ***
Patienten mit Lichtungsseinnun- gen $> 50\%$ (54)	49 (91%) $\chi^2 = 24.882$ ***	37 (69%) $\chi^2 = 33.448$ ***	40 (74%) $\chi^2 = 12.236$ ***	33 (61%) $\chi^2 = 25.781$ ***	40 (74%) $\chi^2 = 35.042$ ***

Tab.13: Darstellung der Häufigkeit von Zunahmen des ST-Senkungs-
-Quotienten über 15%, bzw. 25% 1' nach Belastung gegenüber
in Ruhe bei drei koronarangiographisch eingeteilten
Patientengruppen.

	ST-Veränderungen abklingend inner- halb von 2' nach Belastung	ST-Veränderungen abklingend inner- halb von 6' nach Belastung	ST-Veränderungen gleichbleibend oder zunehmend innerhalb von 6' nach Belastung
Patienten mit nor- malem Koronarsystem mit ST-Veränderungen (37)	5(14%)	17(46%)	15(40%)
Patienten mit einge- engtem Koronarsystem mit ST-Veränderungen (76)	10(13%)	41(54%)	25(33%)
Patienten mit Lich- tungseinengungen ≤ 50% mit ST-Verän- derungen (24)	4(17%)	15(62%)	5(21%)
Patienten mit Lich- tungseinengungen > 50% mit ST-Verände- rungen (52)	6(12%)	26(50%)	20(38%)

Tab.14: Darstellung der Häufigkeit verschiedener zeitlicher Verlaufsformen von ST-Veränderungen bei drei koronarangiographisch eingeteilten Patientengruppen.

Schließlich wurde noch der zeitliche Verlauf der ST-Veränderungen untersucht, die sich als statistisch signifikant erwiesen hatten, wie eine belastungsinduzierte muldenförmige, horizontale oder deszendierende Form, Niveau-Senkung um mehr als 1mm oder Zunahme des ST-Senkungs-Quotienten um mehr als 25%. Es wurde überprüft ob diese ST-Strecken-Veränderungen 2' nach Belastungsende bereits wieder abgeklungen waren, oder ob sie erst innerhalb von 6' nach Belastungsende zurückgegangen waren, oder ob sie gar in der Beobachtungszeit nach Belastung gleichgeblieben waren oder zugenommen hatten. Die Untersuchung der Häufigkeitsverteilung zwischen den verschiedenen Patientengruppen ergab jedoch nur geringfügige Unterschiede (Tab.14).

3.1.7. T-Zacken-Veränderungen

Bei der Untersuchung von T-Zacken-Veränderungen wurden besonders Formabweichungen wie abgeflachtes T (T kleiner $1/7 R$), isoelektrisches T, biphasisches T, praeterterminal negatives T und terminal negatives T (spitz-negatives, gleichschenkelig-negatives oder koronares T) festgehalten (Abb.5).

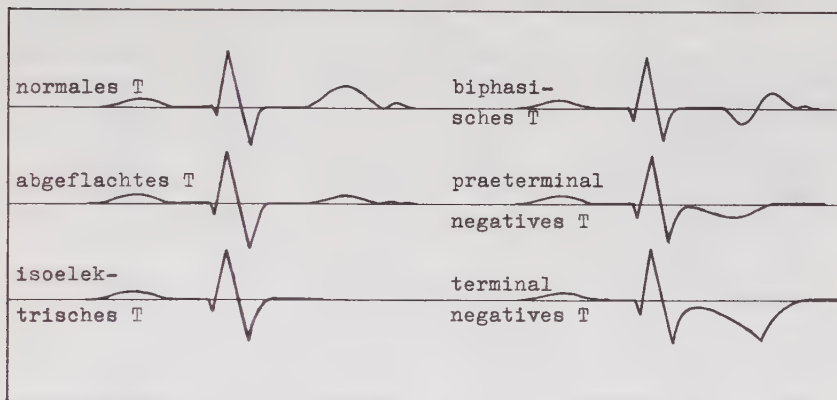


Abb.5: Schematische Elektrokardiogramme
mit verschiedenen T-Formen

Die Untersuchung der Häufigkeit von mindestens einer dieser Veränderungen in einer Ableitung in Ruhe, bzw. 1' nach Belastung gegenüber in Ruhe ergab eine teilweise signifikant größere Anzahl bei den Patientengruppen mit koronarsklerotischen Gefäßwandveränderungen. Dabei zeigten die Untersuchungsergebnisse über das Vorliegen praeterterminaler und terminaler T-Negativierungen 1' nach Belastung gegenüber in Ruhe in mindestens einer Extremitäten- oder Brustwand-Ableitung statistisch signifikante Unterschiede bis auf das 0.1%-***-Niveau für die Häufigkeitsverteilungen zwischen den verschiedenen Patientengruppen (Tab.15).

3.2. Korrelationen zwischen Kriterien der Belastungs-Elektrokardiogramme und Befunden der Koronarangiographie

Im zweiten Teil der Untersuchungen habe ich die Parameter der Belastungs-Elektrokardiogramme mit bestimmten Befunden der Koronarangiographien verglichen. Die Auswertung des Belastungs-EKG erfolgte nach dem Schema des ersten Abschnitts unter besonderer Berücksichtigung der Parameter, die sich auf dem 0.1%-***-Niveau als signifikant erwiesen hatten. Die Korrelationen mit folgenden koronarangiographischen Befunden habe ich statistisch getestet:

- 1) Ausmaß der Lichtungseinengungen in den Koronararterien,
- 2) Anzahl der stenosierte Koronararterien,
- 3) Lokalisation der stenosierenden Veränderungen,
- 4) Ausbildung von Anastomosen und Kollateralen.

3.2.1. Ausmaß der Lichtungseinengungen in den Koronararterien

Die Auswertung der Koronarangiographien erlaubte eine Einteilung in Patientengruppen nach dem Ausmaß der Lichtungseinengungen in den Koronararterien. Dieser Schweregrad der Gefäßwandveränderungen wurde in Prozent des normalen Gefäßlumens ausgedrückt und die Patienten entsprechend der größten koronaren Lichtungseinengung einer der folgenden Gruppen zugeordnet: Patienten mit normalem Koronarsystem (56), mit Lichtungseinengungen bis 25% (16), zwischen 25% und 50% (9), zwischen 50% und 75% (15) und über 75% (39). Auf Grund der Verteilung der Patientenzahlen waren statistische Tests nur durchführbar und sinnvoll für die folgenden Patientengruppen:

- 1) Patienten mit normalem Koronarsystem (56),
- 2) Patienten mit Lichtungseinengungen bis 50% (25),
- 3) Patienten mit Lichtungseinengungen bis 75% (40),
- 4) Patienten mit Lichtungseinengungen über 50% (54),
- 5) Patienten mit Lichtungseinengungen über 75% (39).

Der Vergleich der Patientengruppen mit Lichtungseinengungen gegenüber dem Patientenkollektiv mit normalem Koronarsystem wurde für alle im ersten Abschnitt genannten EKG-Parameter durchgeführt (Tab.16).

EKG-Parameter Patientengruppen (135) Ausmaß der Lichtungseinengung		1' nach Bel./ max. Ergometerbel. (Watt ⁻¹ x min ⁻¹) 50.23	P-Amplituden- Veränderung 1' nach Bel. ≤ 0.5 (mm)	F-Amplituden- Veränderung 1' nach Bel. ≤ 0.0 (mm)	1' nach Bel. gegen horizont. oder deszend. ST-Sen- kung in mind. einer Abl.	1' nach Bel. gegen in Ruhe: ST-Ist- Senkung in mind. einer Abl. ≥ 1.0 (mm)	1' nach Bel. gegen in Ruhe: ST-Senkungs- quotient-Zunahme in mind. einer Abl. ≥ 25%	1' nach Bel. gegen oder term. neg. in mind. einer Abl.
Patienten mit normalem Koronar- system (56)		18 (32%)	15 (27%)	17 (30%)	31 (55%)	2 (4%)	10 (18%)	19 (34%)
Patienten mit Lichtungseinengun- gen ≤ 50% (25)		17 (68%) $\chi^2=9.056$ **	16 (64%) $\chi^2=10.132$ **	21 (84%) $\chi^2=19.970$ ***	23 (92%) $\chi^2=10.443$ **	8 (32%) $\chi^2=12.908$ ***	16 (64%) $\chi^2=16.884$ ***	18 (72%) $\chi^2=10.096$ **
Patienten mit Lichtungseinengun- gen ≤ 75% (40)		27 (68%) $\chi^2=11.714$ ***	28 (70%) $\chi^2=17.621$ ***	30 (75%) $\chi^2=18.609$ ***	35 (88%) $\chi^2=11.221$ ***	13 (32%) $\chi^2=14.811$ ***	26 (65%) $\chi^2=22.125$ ***	29 (73%) $\chi^2=13.886$ ***
Patienten mit Lichtungseinengun- gen > 50% (54)		38 (70%) $\chi^2=16.075$ ***	44 (81%) $\chi^2=33.072$ ***	33 (61%) $\chi^2=10.487$ **	47 (87%) $\chi^2=13.375$ ***	34 (63%) $\chi^2=44.044$ ***	40 (74%) $\chi^2=35.042$ ***	40 (74%) $\chi^2=17.817$ ***
Patienten mit Lichtungseinengun- gen > 75% (39)		28 (72%) $\chi^2=14.473$ ***	32 (82%) $\chi^2=28.090$ ***	24 (62%) $\chi^2=9.111$ **	35 (90%) $\chi^2=11.389$ ***	29 (74%) $\chi^2=51.462$ ***	30 (77%) $\chi^2=32.902$ ***	29 (74%) $\chi^2=15.033$ ***

Tab.16: Darstellung der Häufigkeit von EKG-Veränderungen in Abhängigkeit vom Ausmaß der Lichtungseinengungen in den Koronararterien

Die bereits dort hervorgehobenen Kriterien zeigten auch hier die größte Signifikanz; die ST-Niveau-Senkung um mehr als 1.0 mm im EKG 1' nach Belastung gegenüber dem Ruhe-EKG in mindestens einer Ableitung zeigte eine deutliche Häufigkeitszunahme mit stufenweise ansteigenden χ^2 -Werten bei zunehmendem Schweregrad der Lichtungseinengungen in den Koronararterien, ein Zusammenhang dieser Art war für die übrigen EKG-Parameter weniger deutlich zu erkennen (Tab.16).

3.2.2. Anzahl der stenosierten Koronararterien

Die Feststellung der Anzahl stenosierter Koronararterien erfolgte indem im Koronarangiogramm untersucht wurde, in wievielen Hauptgefäßsystemen (A. cor. dex., A. cor. sin., R. circumfl. sin., R. interventr. ant.) stenosierende Gefäßwandveränderungen mit einer Lichtungseinengung über 50% vorhanden waren. Auf Grund der Verteilung der Patientenzahlen mit 30 Eingefäßstenosen, 16 Zweigefäßstenosen und 8 Dreigefäßstenosen war eine statistische Untersuchung des Zusammenhangs zwischen bestimmten EKG-Parametern und der Anzahl stenosierter Koronararterien nur durchführbar und sinnvoll für die Patientengruppen mit Eingefäßstenosen (30) und Mehrgefäßstenosen (24), (Tab.17). Die statistischen Tests für Häufigkeitsunterschiede zwischen diesen Patientengruppen zeigten bei allen im ersten Abschnitt genannten EKG-Parametern nur annähernd gleiche oder zufällige Verteilungen (Tab.17).

	Frequenzanstieg/ Leistungseinheit $\leq 0.23 \text{ (Watt}^{-1} \text{min}^{-1})$	P-Amplituden- Veränderung $\leq 0.5 \text{ (mm)}$	T-Amplituden- Veränderung $\leq 0.0 \text{ (mm)}$	muldenf., hori- zont. oder des- zend. ST-Senkung	ST-Niveau-Senkung $\geq 1.0 \text{ (mm)}$	ST-Senkungs- Quotient-Zunahme $\geq 25\%$	praeterm. oder term. T-Negati- vierung
Patienten mit Eingefäßstenosen (30)	21(70%)	24(80%)	18(60%)	26(87%)	18(60%)	21(70%)	21(70%)
Patienten mit Mehrgefäßstenosen (24)	17(71%)	20(83%)	15(63%)	21(87%)	16(67%)	19(79%)	19(79%)

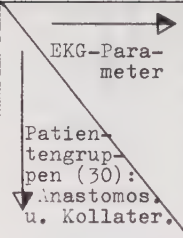
Tab.17: Darstellung der Häufigkeit von EKG-Veränderungen in Abhängigkeit von der Anzahl stenosierter Koronararterien (mit Lichtungseinengungen über 50%)

3.2.3. Lokalisation der stenosierenden Veränderungen

Zur Beurteilung des Zusammenhangs zwischen der Lokalisation stenosierender Veränderungen und bestimmten elektrokardiographischen Befunden wurde im Koronarangiogramm untersucht, in welchem Gefäßsystem (A. cor. dex., R. circumfl. sin. oder R. interventr. ant.) und in welchem Gefäßabschnitt (Hauptstamm oder Peripherie) Eingefäßstenosen mit einer Lichtungseinengung über 50% vorhanden waren. Beim Vergleich der Patientengruppen mit Eingefäßstenosen in den verschiedenen Hauptästen des Koronarsystems war zwar die Durchführung statistischer Tests wegen der kleinen Patientengruppen wenig sinnvoll, jedoch zeigten sich bei Gegenüberstellung der Prozentwerte, entsprechend der Häufigkeit des Auftretens von als signifikant erkannten EKG-Kriterien, auffallende Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung: "pathologische" EKG-Befunde bei Eingefäßstenosen im R. interventr. ant. häufiger als bei solchen im R. circumfl. sin. häufiger als bei solchen in der A. cor. dex. (Tab.18). Beim Vergleich der Patientengruppen mit Eingefäßstenosen im Hauptstamm oder in der Peripherie zeigte die analoge Gegenüberstellung der Prozentwerte annähernd gleiche oder zufällige Häufigkeitsverteilungen (Tab.18).

3.2.4. Ausbildung von Anastomosen und Kollateralen

Zur Untersuchung des Einflusses von Kollateralen und Anastomosen mit retrograder Auffüllung der stenosierten Strombahn auf elektrokardiographische Veränderungen wurden auf Grund des koronarangiographischen Befundes die Patienten mit Eingefäßstenosen (Lichtungseinengung über 50%) mit Ausbildung von Kollateralen und Anastomosen gegen diejenigen ohne verglichen. Wie bereits in den vorhergehenden Untersuchungen war die Durchführung statistischer Tests wegen der kleinen Patientengruppen wenig sinnvoll, die Gegenüberstellung der Prozentwerte für die Häufigkeit des Auftretens der als signifikant erkannten EKG-Parameter zeigte annähernd gleiche Häufigkeitsverteilungen mit meistens geringfügig größeren Prozentzahlen für die Patientengruppe mit Anastomosen und Kollateralen (Tab.19).

	Frequenzzanstieg/ Leistungseinheit $\leq 0.23 (\text{Watt}^{-1} \text{min}^{-1})$	P-Amplituden- Veränderung ≤ 0.5 (mm)	T-Amplituden- Veränderung ≤ 0.0 (mm)	muldenf., hori- zont. oder des- zend. ST-Senkung	ST-Niveau-Senkung ≥ 1.0 (mm)	ST-Senkungs- Quotient-Zunahme $\geq 25\%$	praeterm. oder term. T-Negati- vierung
Patienten mit Eingefäßsteno- sen ohne Ana- stomosen oder Kollateralen (17)	11(65%)	13(76%)	9(53%)	15(88%)	10(59%)	12(71%)	11(65%)
Patienten mit Eingefäßsteno- sen mit Anasto- mosen oder Kol- lateralen (13)	10(77%)	11(85%)	9(69%)	11(85%)	8(62%)	9(69%)	10(77%)

Tab.19: Darstellung der Häufigkeit von EKG-Veränderungen in Abhängigkeit von der Ausbildung von Anastomosen oder Kollateralen bei Eingefäßstenosen (mit Lichtungseinengungen über 50%)

3.3. Ergänzende Untersuchungen über Korrelationen verschiedener Faktoren mit Kriterien des Belastungs-EKG, bzw. Befunden der Koronarangiographie.

Im dritten Teil der Untersuchungen habe ich noch verschiedene Faktoren bezüglich ihres Zusammenhangs mit koronarangiographischen Befunden und ihres Einflusses auf EKG-Parameter geprüft:

- 1) Kontraktionsanomalien und Linkshypertrophie,
- 2) Alter und Leistung,
- 3) Herzschmerz, Herzinfarkt und Risikofaktoren.

3.3.1. Kontraktionsanomalien und Linkshypertrophie

Wie eingangs erwähnt wurde bei allen Patienten im Anschluß an die Koronarangiographie eine linksseitige Ventrikulographie durchgeführt; deren Auswertung erlaubte eine Beurteilung des Kontraktionsvermögens des linken Ventrikels. Der Kontraktionsablauf wurde als normal (Normokinesie) oder anomal (Akinesie, Hypokinesie oder Dyskinesie) bezeichnet. Das Auftreten von Kontraktionsanomalien zeigte folgende Häufigkeitsverteilung innerhalb der einzelnen Patientengruppen:

- bei 9 von 56 Patienten (16%) mit normalem Koronarsystem,
- bei 39 von 79 Patienten (49%) mit eingeengtem Koronarsystem,
- bei 4 von 25 Patienten (16%) mit Lichtungseinengungen bis 50%,
- bei 35 von 54 Patienten (65%) mit Lichtungseinengungen über 50%.

Innerhalb dieser vier Patientengruppen wurde für alle im ersten Abschnitt genannten EKG-Parameter die Häufigkeit des Vorkommens zwischen den jeweiligen Untergruppen mit und ohne Kontraktionsanomalien verglichen; dabei zeigten sich annähernd gleiche, also zufällige Häufigkeitsverteilungen.

Bei 5 Patienten mit normalem und bei 8 Patienten mit eingeengtem Koronarsystem bestand eine Myokardhypertrophie durch chronische Druckbelastung des linken Ventrikels bei Aortenfehlern oder Hypertonie. Wenngleich die Aussagekraft wegen der kleinen Patientenzahlen sehr eingeschränkt ist, soll doch erwähnt

werden, daß von den 6 Patienten, die innerhalb der Patienten-
gruppe mit normalem Koronarsystem die meisten und schwerwiegend-
sten EKG-Veränderungen im Sinne der Untersuchungen des ersten
Abschnitts aufwiesen, 3 Patienten eine Hypertrophie des linken
Ventrikels durch chronische Druckbelastung zeigten.

3.3.2. Alter und Leistung

Wie eingangs erwähnt, lagen gewisse Unterschiede für die
Durchschnittswerte von Alter und Belastungsintensität zwischen
den verschiedenen Patientengruppen vor:

- 48 Jahre/ 143 Watt für alle 135 Patienten,
- 45 Jahre/ 155 Watt für die 56 Patienten mit normalem
Koronarsystem,
- 49 Jahre/ 135 Watt für die 79 Patienten mit eingeengtem
Koronarsystem,
- 47 Jahre/ 156 Watt für die 25 Patienten mit Lichtungsein-
engungen bis 50%,
- 51 Jahre/ 124 Watt für die 54 Patienten mit Lichtungs-
einengungen über 50%.

Um diesen Unterschieden Rechnung zu tragen wurde der
Einfluß von Lebensalter und Belastungsintensität auf die im
ersten Abschnitt genannten EKG-Parameter untersucht.

Der Einfluß des Alters wurde geprüft indem innerhalb
jeder Patientengruppe die Häufigkeit des Vorkommens der EKG-
Parameter zwischen den jeweiligen Untergruppen mit Patienten
bis 48 Jahre und denjenigen mit Patienten über 48 Jahre ver-
glichen wurde; dabei zeigten sich nur geringfügige Unterschiede
mit Ausnahme des Parameters: Frequenzanstieg/Leistungseinheit
kleiner oder gleich dem empirisch gefundenen Grenzwert von
 $0.23 \text{ (Watt}^{-1} \times \text{min}^{-1})$. Dieser EKG-Parameter war in den Patienten-
gruppen mit höherem Lebensalter eindeutig häufiger vorhanden;
in der Patientengruppe mit normalem Koronarsystem lag dieser
Parameter in der Untergruppe mit Patienten bis 48 Jahre nur in
8 von 37 Fällen (22%) vor, während er in der Untergruppe mit
Patienten über 48 Jahre in 10 von 19 Fällen (53%) registriert
wurde, was eine signifikante Häufigkeitsverteilung auf dem
5%-Niveau mit einem Chi^2 -Wert von 5.535 bedeutet.

Der Einfluß der Belastungsintensität wurde analog untersucht indem innerhalb jeder Patientengruppe die Häufigkeit des Vorkommens der EKG-Parameter zwischen den jeweiligen Untergruppen mit Patienten mit einer maximalen Ergometerbelastung bis 100 Watt und denjenigen mit einer Belastung über 100 Watt verglichen wurde; dabei zeigten sich zufällige Häufigkeitsverteilungen für die ST-T-Parameter, während für die Parameter T-Amplituden-Veränderung kleiner oder gleich 0.0 (mm), P-Amplituden-Veränderung kleiner oder gleich 0.5 (mm) und Frequenzanstieg/Leistungseinheit kleiner oder gleich $0.23 \text{ (Watt}^{-1} \times \text{min}^{-1})$ Unterschiede deutlich wurden. Wenngleich die Durchführung statistischer Tests wegen zu kleiner Patientenzahlen wenig sinnvoll war, so zeigte doch die Gegenüberstellung der Prozentwerte für die Häufigkeit des Vorkommens dieser EKG-Parameter die Tendenz häufigeren Auftretens in den Patientengruppen mit maximaler Ergometerbelastung unter 100 Watt gegenüber denjenigen mit einer Belastung über 100 Watt. Innerhalb der Patientengruppe mit normalem Koronarsystem lagen die Parameter T-Amplitude und Frequenzanstieg/Leistungseinheit und P-Amplitude in der Untergruppe mit Belastungsintensität bis 100 Watt in 4(36%), 6(55%) und 5(45%) von 9 Fällen vor, gegenüber 13(29%), 9(20%) und 13(29%) von 45 Patienten mit Belastung über 100 Watt.

3.3.3. Herzschmerz, Herzinfarkt und Risikofaktoren

Abschließend wurde noch untersucht welche Bedeutung dem Auftreten pectanginöser Herzbeschwerden während Belastung, der Tatsache eines abgelaufenen Herzinfarktes und dem Vorliegen von Risikofaktoren koronarer Herzerkrankungen bezüglich ihres Zusammenhangs mit koronarangiographischen Befunden und ihres Einflusses auf EKG-Parameter ist.

Herzschmerzen waren während des Belastungsversuches aufgetreten:

- bei 15 Patienten mit normalem Koronarsystem, (28%),
- bei 43 Patienten mit eingengtem Koronarsystem (54%)
- bei 7 Patienten mit Lichtungseinengungen bis 50% (28%),
- bei 36 Patienten mit Lichtungseinengungen über 50% (67%).

Die Häufigkeitsverteilung zwischen den Patientengruppen mit normalem und mit eingengtem Koronarsystem ergab einen signifikanten Unterschied auf dem 1%-***-Niveau mit einem χ^2 -Wert von 10.220, zwischen der Patientengruppe mit normalem Koronarsystem und derjenigen mit Lichtungseinengungen über 50% gar auf dem 0.1%-***-Niveau mit einem χ^2 -Wert von 15.984.

Ein abgelaufener Herzinfarkt war vorhanden:

- bei 2 Patienten (4%) mit normalem Koronarsystem,
- bei 33 Patienten (42%) mit eingengtem Koronarsystem,
- bei 8 Patienten (32%) mit Lichtungseinengungen bis 50%,
- bei 25 Patienten (46%) mit Lichtungseinengungen über 50%.

Der Häufigkeitsvergleich zwischen der Patientengruppe mit normalem Koronarsystem auf der einen Seite und den verschiedenen Patientengruppen mit eingengtem Koronarsystem auf der anderen Seite ergab jeweils signifikante Unterschiede auf dem 0.1%-***-Niveau, wobei die χ^2 -Werte entsprechend der obengenannten Reihenfolge der Patientengruppen bei 24.901, 12.908 und 24.632 lagen.

Die Kombinationen von mindestens zwei Risikofaktoren, wie Hypertonie, Hyperlipidämie, Diabetes mellitus und Zigarettenrauchen lag vor:

- bei 17 Patienten (30%) mit normalem Koronarsystem,
- bei 47 Patienten (60%) mit eingengtem Koronarsystem,
- bei 11 Patienten (46%) mit Lichtungseinengungen bis 50%,
- bei 36 Patienten (67%) mit Lichtungseinengungen über 50%.

Die Häufigkeitsverteilung zwischen der Patientengruppe mit normalem Koronarsystem und den verschiedenen Patientengruppen mit eingengtem Koronarsystem ergab signifikante Unterschiede für den Vergleich mit der gesamten Gruppe mit eingengtem Koronarsystem und für den Vergleich mit der Patientengruppe mit Lichtungseinengungen über 50% auf dem 0.1%-***-Niveau mit einem χ^2 -Wert von 11.158, bzw. 13.197.

Innerhalb jeder Patientengruppe wurde für alle im ersten Abschnitt genannten EKG-Parameter die Häufigkeit des Vorkommens zwischen den jeweiligen Untergruppen mit und ohne Herzschmerzen, Herzinfarkt oder Risikofaktoren verglichen. Dabei zeigten sich Häufigkeitsverteilungen, die zwar die Tendenz größerer Häufigkeit bei den Patientengruppen mit den untersuchten Faktoren erkennen ließen, jedoch ein statistisch signifikantes Niveau nicht erreichten.

4. Diskussion

In der Literatur ist seit den Untersuchungen von Dietrich und Schwiegk und später von Reindell und Mitarb. eine Vielzahl von Arbeiten über das Belastungs-EKG als Methode zur Erkennung einer latenten Koronarinsuffizienz erschienen (3,4,10,11,18,20,22,23,28,30,31 u.a.). Gerade in letzter Zeit ist in einer Reihe von Untersuchungen versucht worden die diagnostische Treffsicherheit des Belastungs-EKG durch Korrelation mit der Koronarangiographie zu verbessern (5,6,12,19, 21,24,26,27,29 u.a.). Im folgenden Abschnitt sollen die eigenen Arbeitsergebnisse mit den Untersuchungsergebnissen der Literatur verglichen und kritisch interpretiert werden.

4.1. Über Parameter der Belastungs-Elektrokardiogramme als Kriterien einer angiographisch gesicherten Koronarsklerose.

In der Literatur sind mehrere EKG-Veränderungen infolge Belastung als Kriterien einer Koronarinsuffizienz, die entweder intravital durch Angiographie oder post mortem durch Sektion nahegelegt wurde, beschrieben worden (1,4,10,14,23,28,30,34 u.a.) Unter diesen "pathologischen EKG-Kriterien" mit sehr unterschiedlicher prognostischer und diagnostischer Aussagekraft sind genannt worden: horizontale oder deszendierende ST-Senkungen, ausgeprägte ST-Hebungen, praeterminale oder terminale T-Negativierungen, T-Abflachungen, U-Negativierungen, Verlängerungen der PQ- und QT-Dauer, QRS-Verbreiterungen bis zum Schenkelblock und Rhythmusstörungen wie gehäufte ventrikuläre und supraventrikuläre Extrasystolen, Vorhofflimmern oder AV-Block. Während die meisten dieser belastungsinduzierten Ekg-Veränderungen in der obengenannten Literatur als relativ selten oder nur zusammen mit anderen Abweichungen auftretend angesehen worden sind, ist die horizontale oder deszendierende ST-Senkung evt. mit einer praeterminalen oder terminalen T-Negativierung als elektrokardiographisches Symptom einer Koronarinsuffizienz anerkannt und als Erregungsrückbildungsstörung infolge ischämischer Innenschichtschädigung des linken Ventrikels interpretiert worden (10,30,34,35).

Die Untersuchungen über die Häufigkeit dieser ischämischen ST-Senkungen infolge Belastung haben in der Literatur sehr unterschiedliche Ergebnisse gebracht, wobei die Prozentwerte für Patienten mit koronarsklerotisch verändertem Gefäßsystem zwischen 43% und 85% lagen; im Vergleich dazu für Patienten mit normalem Koronarsystem zwischen 5% und 30% (5,9,13,21,25, 29). Die eingeschränkte Vergleichbarkeit der einzelnen Untersuchungsergebnisse beruht auf Unterschieden der Patientenselektion, in der Belastungsform und -intensität, in den EKG-Aufzeichnungsarten und -Auswertungskriterien (belastungsinduzierte ST-Niveau-Senkung um mehr als 0.5, 0.75 oder 1.0 mm) und in den koronarangiographischen Einteilungskriterien (Zuordnung zur Patientengruppe mit Koronarsklerose bereits bei geringfügigen Gefäßwandveränderungen oder erst bei Lichtungseinengungen über 50% oder 75%).

Bei meinen eigenen Untersuchungen habe ich möglichst unvoreingenommen durch die Mitteilungen der Literatur eine systematische Auswertung der Belastungs-Elektrokardiogramme vorgenommen und die Aussagekraft der einzelnen EKG-Parameter als Kriterien für eine angiographisch gesicherte Koronarsklerose statistisch getestet.

Bei der Bestimmung der Herzfrequenzwerte vor, während und nach Belastung hat sich der empirisch gefundene, binäre EKG-Parameter, der die lineare Beziehung zwischen steigender Herzfrequenz und zunehmender Leistung berücksichtigt (10,14), als statistisch signifikant erwiesen. Der Anstieg der Herzfrequenz bei Belastung ist aber nicht nur abhängig von der Leistung, sondern auch von Alter, Geschlecht, Körperbau und Trainingszustand des Patienten (10,14). Die Untersuchungen über den Einfluß des Alters auf verschiedene EKG-Parameter haben gezeigt, daß die Aussagekraft des Frequenz-Kriteriums durch die genannten Faktoren, die bei den verschiedenen Patientengruppen in teilweise unterschiedlicher Häufigkeit vorgelegen haben, eingeschränkt ist.

Bei den Untersuchungen über die Häufigkeit belastungsinduzierten Auftretens schwerwiegender Rhythmusstörungen, wie sie in der Literatur als seltenes Kriterium einer Koronarsuffizienz beschrieben sind (10,14,30,34), habe ich keine auffälligen Häufigkeitsverteilungen feststellen können, wobei allerdings die relativ große Zahl von bereits in Ruhe bestehenden Rhythmusstörungen infolge unserer Patientenselektion zu erwähnen bleibt.

Bei der Bestimmung der Zeitdauer einzelner Periodenabschnitte hat die Gegenüberstellung der Absolutwerte wenig Information gebracht, eine Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit durch einfache Quotientbildung ist nicht möglich gewesen, da es sich bei dem Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und Dauer einzelner Intervallabschnitte um eine nicht-lineare Beziehung handelt (Lepeschkin zitiert nach 7,34). Bei der Berücksichtigung dieses Zusammenhangs durch Bestimmung der relativen QT-Dauer mit Hilfe eines Nomogramms habe ich keine wesentlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Patientengruppen erkennen können.

Bei den Untersuchungen über die Amplituden habe ich bei allen überprüften Zacken eine geringere Amplitudenzunahme infolge Belastung bei den Patientengruppen mit Koronarsklerose gegenüber jener mit normalem Koronarsystem registrieren können. Besonders aussagekräftig sind dabei die beiden empirisch gefundenen, binären Parameter für P- und T-Amplitude gewesen. Die Untersuchungen über den Einfluß der Leistung auf verschiedene EKG-Parameter haben jedoch gezeigt, daß dieser Effekt zumindest teilweise durch die unterschiedliche Belastungsintensität (Frequenzanstieg) bedingt sein kann, so daß das P- und T-Kriterium nur mit Einschränkung zu verwenden ist.

Bei der Beurteilung der Häufigkeit von Veränderungen des Lagetyps infolge Belastung hat sich zwar eine häufigere Rechtsdrehung bei Patienten mit normalem Koronarsystem und eine häufigere Linksdrehung bei Patienten mit Koronarsklerose angedeutet, die Durchführung statistischer Tests ist jedoch wegen des relativ seltenen Auftretens und der kleinen Patientenzahlen nicht möglich gewesen.

Bei den Untersuchungen über die Häufigkeit belastungsinduzierter ST-Veränderungen hat sich die Senkung des ST-Abgangs als ungeeignetes Kriterium erwiesen, da sie auch bei den Patienten mit normalem Koronarsystem in der Mehrzahl der Fälle vorgelegen hatte. Das Auftreten ascendierender ST-Senkungs-Formen infolge Belastung hat wegen des häufigen Vorkommens auch bei Normalpersonen die in der Literatur verbreitete Interpretation nahegelegt, daß es sich bei dieser sog. j-Form (junction depression) um eine nicht als pathologisch zu wertende, in erster Linie durch Tachykardie hervorgerufene Formänderung der ST-Strecke handelt (10,14,23,28,30,34). Das Auftreten deutlicher ST-Hebungen ist in der Literatur beschrieben worden als spiegelbildliche Hebung bei Senkung in einer anderen Ableitung, als Folge eines Ventrikulaneurysmas nach Infarkt oder als transmurale Ischämie mit Außenschichtbeteiligung (Atterhog zitiert in 10). Diese Formänderung der ST-Strecke ist bei meinen Untersuchungen nur selten ohne spiegelbildliche ST-Senkung vorgekommen, so daß ich wegen der kleinen Patientenzahl auf eine gesonderte Untersuchung dieses EKG-Parameters verzichtet habe. Bei der Auswertung der Häufigkeit des Auftretens von muldenförmigen, horizontalen oder deszendierenden ST-Senkungs-Formen infolge Belastung hat sich dieser EKG-Parameter ebenso wie die praeterterminalen oder terminalen T-Negativierungen als statistisch signifikantes Kriterium für ein pathologisches Verhalten im Sinne einer Ischämieereaktion erwiesen (10,14,28,30,34). Allerdings ist die Aussagekraft für eine koronarangiographisch gesicherte Koronarsklerose sowohl beim ST-Senkungs-, als auch beim T-Negativierungs-Kriterium eingeschränkt durch die relativ große Anzahl falsch-positiver Ergebnisse. Bei der Auswertung der belastungsinduzierten ST-Niveau-Senkung habe ich ähnliche Häufigkeitsverteilungen zwischen den Patientengruppen mit und ohne Koronarsklerose gefunden wie sie in der Literatur beschrieben sind, wobei die schwierige Vergleichbarkeit der einzelnen Untersuchungsergebnisse aus den obengenannten Gründen zu berücksichtigen ist. (3,5,9,10,13,21,25,27,28,29,30).

Der ST-Niveau-Parameter hat sich damit ebenso wie der ST-Senkungs-Quotient-Parameter (18,25) als hochsignifikantes Kriterium für das Vorliegen einer latenten Koronarinsuffizienz, bzw. für die Korrelation mit einer koronarangiographisch gesicherten Koronarsklerose erwiesen. Die beschriebenen "ischämischen EKG-Veränderungen" sind, wie auch in der Literatur beschrieben (10,34), sowohl während als auch nach Belastung vorhanden gewesen; die Untersuchung des zeitlichen Verlaufs dieser Veränderungen bis 6' nach Belastungsende hat keine zusätzliche Information gebracht.

4.2. Über Korrelationen zwischen Kriterien der Belastungs-Elektrokardiogramme und Befunden der Koronarangiographie

In der Literatur ist eine Reihe von Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen "ischämischen EKG-Veränderungen" und koronarangiographisch beurteiltem Ausmaß der Lichtungseinengungen in den Koronararterien beschrieben worden (5,9,13,21,25,27, 29,u.a.). Die Ergebnisse meiner eigenen Untersuchungen haben ähnliche Korrelationen gezeigt in dem Sinne häufigeren Auftretens von EKG-Veränderungen, besonders des ST-Niveau-Kriteriums, bei Patienten mit Lichtungseinengungen über 50% oder gar über 75%. Das weniger häufige Auftreten der "ischämischen EKG-Veränderungen" bei den Patientengruppen mit schwächer ausgeprägten koronarsklerotischen Lichtungseinengungen kann darauf zurückgeführt werden, daß bei diesen Patienten für die betreffende Belastungsintensität die Kompensationsmechanismen der Koronarreserve ausreichend sind (30,32). Die relativ große Häufigkeit des Auftretens der EKG-Kriterien in der Patientengruppe mit Lichtungseinengungen unter 50% ist evt. auf eine bessere Ausbelastung der Patienten, eine häufiger angiographische Unterbewertung der Ausdehnung des koronarsklerotischen Prozesses oder eine geringe Spezifität der EKG-Parameter mit Ausnahme des ST-Niveau-Kriteriums zurückzuführen.

Für die Anzahl stenosierter Koronararterien habe ich abweichend von einigen Untersuchungsergebnissen in der Literatur (21,25,27) keine statistisch signifikante Korrelation mit der Häufigkeit "ischämischer EKG-Veränderungen" feststellen können. Auch hier legen die hohen Prozentwerte für das Auftreten der EKG-Kriterien bei Eingefäßstenosen eine gute Ausbelastung als Erklärung nahe.

Bei der Untersuchung des Einflusses der Lokalisation von Eingefäßstenosen auf die EKG-Veränderungen habe ich keine Unterschiede zwischen im Hauptstamm und in der Peripherie gelegenen Stenosen feststellen können, während sich die Mitteilungen der Literatur bezüglich der Lokalisation in den verschiedenen Hauptästen des Koronarsystems bestätigt haben (25,27). Eine Ischämie im Versorgungsgebiet der A. cor. dex. oder des R. circumfl. sin. ist offensichtlich schwieriger elektrokardiographisch aufzudecken als in dem R. interventr. ant. (25).

Bei der Untersuchung des Einflusses von Anastomosen und Kollateralen habe ich die zu erwartende häufigere Ausbildung bei schwerwiegenden koronarsklerotischen Gefäßwandveränderungen beobachtet, innerhalb der Patientengruppe mit Eingefäßstenosen habe ich jedoch keinen Zusammenhang mit der Häufigkeit auftretender EKG-Veränderungen feststellen können (21,27,36).

4.3. Über Korrelationen verschiedener Faktoren mit Kriterien des Belastungs-EKG, bzw. Befunden der Koronarangiographie

Bei der Untersuchung des Einflusses von Kontraktionsanomalien auf die Häufigkeit des Auftretens "ischämischer EKG-Veränderungen" infolge Belastung habe ich zwar ein deutlich häufigeres Vorkommen von Kontraktionsanomalien in den Patientengruppen mit Koronarsklerose registriert, ein davon unabhängiger Einfluß auf die EKG-Kriterien konnte in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Martin (21) jedoch nicht festgestellt werden.

Eine Beurteilung des Einflusses einer Linkshypertrophie durch chronische Druckbelastung des linken Ventrikels bei Aortenfehlern oder Hypertonie ist wegen der kleinen Patientenzahlen nicht möglich gewesen, das Vorliegen bei 3 von 6 Patienten mit schwerwiegenden EKG-Veränderungen bei angiographisch normalem Koronarsystem kann jedoch als Hinweis verstanden werden, daß diese Ursache einer funktionellen Koronarinsuffizienz bei falsch-positiven Ergebnissen berücksichtigt werden sollte (17,21,25,27,30).

Bei der Untersuchung der Auswirkungen der unterschiedlichen Durchschnittswerte für Alter und Leistung bei den verschiedenen Patientengruppen haben sich die bereits beschriebenen Einschränkungen für Frequenz-, P-Amplituden- und T-Amplituden-Kriterium ergeben.

Bei der Beurteilung von Zusammenhängen zwischen belastungsinduzierten Herzschmerzen, abgelaufenem Herzinfarkt oder vorliegenden Risikofaktoren und der Häufigkeit "ischämischer EKG-Veränderungen" habe ich in meinen Untersuchungen keine unabhängige Beeinflussung feststellen können. Das jeweils häufigere Vorkommen in den Patientengruppen mit schwerwiegenden koronarsklerotischen Gefäßwandveränderungen hat den Herzinfarkt als das erwartete sichere, hochsignifikante Kriterium für eine Koronarsklerose ausgewiesen (1,10,21,30); ebenso Herzschmerzen und Risikofaktoren mit der Einschränkung geringerer Spezifität (1,8,10,16,17,30).

4.4. Interpretationen falsch-positiver und falsch-negativer Ergebnisse

Die Grenzen der Korrelation zwischen Belastungs-EKG als Methode zur Beurteilung eines funktionellen Zustandes (latente Koronarinsuffizienz) und Koronarangiographie als Methode zur Beurteilung eines morphologischen Zustandes (Lichtungseinengung v.a. durch Koronarsklerose) sind durch die Diskrepanz zwischen Morphologie und Funktion gesteckt (30,36).

Falsch-positive Ergebnisse sind zu erwarten, wenn eine Koronarinsuffizienz durch Ursachen hervorgerufen wird, die nicht mit morphologischen Veränderungen in den Koronararterien einhergehen. Eine Koronarinsuffizienz als Mißverhältnis zwischen koronararteriellem Sauerstoffangebot und myokardialen Sauerstoffbedarf kann verursacht werden durch eine Verringerung des Sauerstoffangebots infolge mechanischer Durchblutungsbehinderung des Koronarsystems oder infolge verminderten Sauerstoffgehalts des Blutes, oder durch eine Erhöhung des Sauerstoffbedarfs des Herzens (17,32). Weitaus die wichtigste und häufigste Ursache einer Koronarinsuffizienz sind die atherosklerotischen Gefäßwandveränderungen bei Koronarsklerose; bei Untersuchungen in der Literatur (Lenègre, Himbert und Zoll zitiert in 30) sind bei Patienten mit klinisch gesicherter Koronarinsuffizienz in 83% bis 93% der Fälle koronarangiographisch gesicherte koronarsklerotische Lichtungseinengungen über 50% beschrieben worden,

während in den restlichen Fällen hauptsächlich Aortenfehler und Hypertonie vorgelegen haben. Besonders die Linkshypertrophie durch chronische Druckbelastung des linken Ventrikels bei Aortenfehlern und Hypertonie sollte, wie bereits erwähnt, bei der Interpretation falsch-positiver Untersuchungsergebnisse berücksichtigt werden (17,21,25,27,30).

Falsch-positive Ergebnisse sind weiterhin zu erwarten, wenn eine Koronarinsuffizienz durch morphologische Veränderungen verursacht wird, die bei der koronarangiographischen Darstellung des Koronarsystems verborgen geblieben sind. In der Literatur ist eine häufige Unterbewertung der Ausdehnung eines koronarsklerotischen Prozesses im Vergleich mit pathologisch-anatomischen Befunden beschrieben worden (Barmeyer u. Eustermann zitiert in 36). Weiterhin ist an Veränderungen der myokardialen Mikrozirkulation zu denken, wenn schwerwiegende EKG-Veränderungen bei angiographisch normalem Koronarsystem vorliegen (Wells zitiert in 30,36). Schließlich ist bei der Interpretation falsch-positiver Ergebnisse noch zu denken an andere Ursachen ähnlicher EKG-Veränderungen wie z.B. WPW-Syndrom, ventrikuläre Extrasystolie, medikamentöse Einflüsse, Elektrolytentgleisungen, Orthostasereaktion, Myokarditis oder Perikarditis (10,30,34).

Falsch-negative Ergebnisse sind zu erwarten, wenn es durch Belastung nicht gelingt, eine latente Koronarinsuffizienz bei angiographisch gesicherten koronarsklerotischen Lichtungseingengungen zu manifestieren. Bei einer Koronarsklerose geringeren Ausmaßes, die einer klinischen Manifestation um Jahre und Jahrzehnte vorausgehen kann, kann die Durchblutung des Herzens in Ruhe und bei leichter Belastung durch Mobilisierung der Koronarreserven und eventuelle Ausbildung von Anastomosen und Kollateralen ausreichend sein; bei stärkerer Belastung jedoch wird die Koronardurchblutung insuffizient wegen der durch atheromatöse Lichtungseingengung und Wandstarre eingeschränkten maximalen Dilatationsfähigkeit der Gefäße (1,30,32). Eine zur Aufdeckung einer latenten Koronarinsuffizienz ausreichende Belastung ist deshalb eine wichtige Forderung für die Vermeidung falsch-negativer Ergebnisse (10).

Schließlich sei bei der Interpretation falsch-negativer Ergebnisse noch auf den Einfluß der Lokalisation koronarsklerotischer Lichtungseinengungen hingewiesen. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Mc Henry und Most-(25,27) ist die Anzahl falsch-negativer Ergebnisse bei angiographisch gesicherten Veränderungen in der A. cor. dex. oder im R. circumfl. sin. deutlich größer gewesen als bei Veränderungen im R. interventr. ant.

4.5. Schlußfolgerung und Synopsis

Wie im vorigen Abschnitt ausgeführt ist die Korrelation zwischen Belastungs-EKG und Koronarangiographie begrenzt durch die unvollkommene Korrelation zwischen Koronarinsuffizienz und Koronarsklerose und durch methodische Unsicherheiten. Abschließend habe ich unter Berücksichtigung der wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit versucht die diagnostische Treffsicherheit bei koronarangiographisch gesicherter Koronarsklerose durch gemeinsame Beurteilung von Belastungs-EKG-Kriterien und anamnestischen Angaben zu verbessern (Tab.20). Dabei wurden alle jene Parameter, denen ich eine eingeschränkte Aussagekraft zuerkannt habe, mit jeweils einem halben Punkt bewertet:

- 1) Frequenzansieg 1' nach Belastung / max. Ergometerbelast.
kleiner oder gleich $0.23 \text{ (Watt}^{-1} \times \text{min}^{-1})$,
- 2) P-Amplituden-Veränderung 1' nach Belastung
kleiner oder gleich 0.5 (mm) ,
- 3) T-Amplituden-Veränderung 1' nach Belastung
gleich 0.0 (mm) ,
- 4) ST-Form-Veränderung 1' nach Belastung gegen in Ruhe:
muldenförmige, horizontale oder deszendierende
ST-Senkung in mindestens einer Ableitung,
- 5) T-Form-Veränderung 1' nach Belastung gegen in Ruhe:
praeterminale oder terminale T-Negativierung in
mindestens einer Ableitung,
- 6) Auftreten pectanginöser Herzbeschwerden während der Belastung
- 7) Vorliegen von mindestens zwei Risikofaktoren koronarer
Herzkrankungen,

während die als uneingeschränkt signifikant beurteilten Parameter mit einem ganzen Punkt bewertet wurden:

- 8) ST-Niveau-Senkung: 1' nach Belastung gegen in Ruhe
in mindestens einer Ableitung größer oder gleich 1.0 (mm),
- 9) ST-Senkungs-Quotient-Zunahme: 1' nach Belastung gegen
in Ruhe in mindestens einer Ableitung
größer oder gleich 25%,
- 10) Vorliegen eines abgelaufenen Herzinfarkts.

Nach Bildung der Punktsumme wurde die Häufigkeit einer Punktzahl von mindestens 3.0, bzw. 4.0 Punkten bei den einzelnen Patientengruppen ermittelt; dabei zeigten die statistischen Tests höchste χ^2 -Werte auf dem 0.1%-***-Signifikanz-Niveau. Die Prozentwerte für die Häufigkeit einer Mindestpunktzahl von 3.0

- bei 11% der Patienten mit normalem Koronarsystem,
- bei 82% der Patienten mit eingeengtem Koronarsystem,
- bei 85% der Patienten mit Lichtungseinengungen über 50%,
- bei 90% der Patienten mit Lichtungseinengungen über 75%,

haben dieses "anamnestisch-elektrokardiographische Kriterium" in den vorliegenden Untersuchungen als brauchbar - unter Berücksichtigung der erwähnten Korrelationsgrenzen - zur frühen Diagnose koronarer Herzerkrankungen erwiesen.

Punktsumme der EKG- und Anam- nese-Krite- rien Patienten- gruppen (135)	≥ 3.0	≥ 4.0
Patienten mit normalem Koronarsystem (56)	6 (11%)	3 (5%)
Patienten mit koronarsklerotisch veränderten Koronarsystem (79)	65 (82%) $\chi^2=67.313$ ***	51 (65%) $\chi^2=47.853$ ***
Patienten mit Lichtungseinengungen $\leq 50\%$ (25)	19 (76%) $\chi^2=34.524$ ***	13 (52%) $\chi^2=23.722$ ***
Patienten mit Lichtungseinengungen $\leq 75\%$ (40)	30 (75%) $\chi^2=41.143$ ***	19 (48%) $\chi^2=23.459$ ***
Patienten mit Lichtungseinengungen $> 50\%$ (54)	46 (85%) $\chi^2=55.606$ ***	38 (70%) $\chi^2=45.181$ ***
Patienten mit Lichtungseinengungen $> 75\%$ (39)	35 (90%) $\chi^2=58.529$ ***	32 (82%) $\chi^2=58.114$ ***

Tab.20: Darstellung der Häufigkeit elektrokardiographisch-anamnestischer Kriterien (s. Text) bei den verschiedenen koronarangiographisch eingeteilten Patientengruppen

5. Zusammenfassung

Bei 135 Patienten habe ich die Elektrokardiogramme nach maximaler Ergometerbelastung systematisch ausgewertet und die Aussagekraft der folgenden EKG-Parameter als Kriterien für eine koronarangiographisch gesicherte Koronarsklerose statistisch getestet: Herzfrequenz, Rhythmusstörungen, Dauer verschiedener Periodenabschnitte, Amplitude verschiedener Zacken, Lagetypen, ST-Strecken-Veränderungen und T-Zacken-Veränderungen. Dabei zeigte der Vergleich der Patientengruppe mit koronarsklerotischen Gefäßwandveränderungen (79 Pat.) gegenüber derjenigen mit normalem Koronarsystem (56 Pat.) für die folgenden EKG-Parameter die größte statistische Signifikanz: 1) die empirisch gefundenen Binär-Parameter über den Frequenzanstieg/Leistungseinheit und über die P- und T-Amplituden-Veränderungen, 2) die Parameter über die belastungsinduzierten Veränderungen der ST-Form (muldenförmige, horizontale oder deszendierende ST-Senkung) und der T-Form (praeterterminale oder terminale T-Negativierung), 3) die Parameter über die ST-Niveau-Senkung um mindestens 1.0 (mm) und über die ST-Senkungs-Quotient-Zunahme um mindestens 25% 1' nach Belastung gegenüber in Ruhe. Für die verschiedenen EKG-Parameter lagen erhebliche Unterschiede an Spezifität und Empfindlichkeit vor, wobei die Zahl falsch-positiver Ergebnisse zwischen 4% und 55%, die Zahl wahr-positiver Ergebnisse zwischen 53% und 89% lag. Die größte statistische Aussagekraft mit der höchsten Signifikanz habe ich für die Kriterien über die ST-Niveau-Senkung und die ST-Senkungs-Quotient-Zunahme gefunden (0.1%-***-Niveau). Anschließend habe ich die EKG-Parameter mit den folgenden koronarangiographischen Befunden auf evt. bestehende Korrelationen statistisch getestet: Ausmaß der Lichtungseingengungen in den Koronararterien, Anzahl der stenosierten Koronararterien, Lokalisation der stenosierenden Veränderungen und Ausbildung von Anastomosen und Kollateralen. Dabei zeigte

der Vergleich zwischen den Patientengruppen mit unterschiedlicher Lichtungseinengung einen deutlichen Zusammenhang mit der Häufigkeit aufgetretener EKG-Veränderungen; der Einfluß der Lokalisation wurde deutlich durch eine größere Anzahl falsch-negativer Ergebnisse bei stenosierenden Veränderungen in der A. cor. dex. oder im R. circumfl. sin.. Schließlich habe ich noch verschiedene Faktoren bezüglich ihres Zusammenhangs mit koronarangiographischen Befunden und ihres Einflusses auf EKG-Parameter geprüft: Kontraktionsanomalien, Linkshypertrophie, Alter, Leistung, Herzschmerz, Herzinfarkt und Risikofaktoren. Dabei zeigten sich ein schwacher Einfluß von Alter und Leistung auf EKG-Veränderungen und statistisch signifikante Häufigkeitsverteilungen für Herzschmerz, Herzinfarkt und Risikofaktoren. Abschließend habe ich unter Berücksichtigung der wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit versucht die diagnostische Treffsicherheit bei angiographisch gesicherter Koronarsklerose durch gemeinsame Beurteilung von Belastungs-EKG-Kriterien und anamnestischen Angaben zu verbessern. Dabei wurde mit Hilfe eines Punktschemas ein "anamnestisch-elektrokardiographisches Kriterium" entwickelt, das bei 11% der Patienten mit normalem Koronarsystem und bei 82% der Patienten mit koronarsklerotisch verändertem Gefäßsystem (bei 85%, bzw. 90% mit Lichtungseinengungen über 50%, bzw. 75%) vorlag und sich somit nach meinen Untersuchungsergebnissen als brauchbar erwiesen hat für eine frühe Diagnose koronarer Herzerkrankungen mit höchster statistischer Signifikanz (***).

6. Literaturverzeichnis

- 1) Alber, G.: "Was ist gesichert in der Diagnostik der Koronarinsuffizienz: Die Diagnostik mit Routinemethoden", Fortschr.d.Med., 90, 880, 1972.
- 2) Bankl, H.: "Pathologie der Kreislauforgane" in Holzner, I.H.: "Pathologie des Menschen, Spezielle Pathologie 1", S. 1ff., München, Urban & Schwarzenberg, 1974.
- 3) Blomquist, C.G.: "Use of exercise testing for diagnostic and functional evaluation of patients with arteriosclerotic heart disease", Circulation, 46, 1120, 1971.
- 4) Brody, A.J.: "Master two-step exercise test in clinically unselected patients", JAMA, 171, 1195, 1959.
- 5) Demany, M.A., Tambe, A., Zimmermann, H.A.: "Correlation between coronary arteriography and the postexercise electrocardiogram", Amer J Cardiol, 17, 516, 1967.
- 6) Fitzgibbon, G.M., Burggraf, G.W., Groves, T.D., Parker, J.D.: "A double Master's two step test: Clinical, angiographic and hemodynamic correlations", Ann Intern Med, 74, 509, 1971.
- 7) Heinecker, R.: "EKG-Fibel", S. 27ff., Stuttgart, Georg Thieme Verlag, 1973, 9. Aufl..
- 8) Hort, W.: "Spezielle pathologische Anatomie der Kreislauforgane" in Hamperl, H., Eder, M., Gedigk, P.: "Lehrbuch der Allgemeinen Pathologie und der Pathologischen Anatomie", S. 301ff., Berlin, Springer-Verlag, 1974, 29. Aufl..
- 9) Hultgren, H., Calciano, A., Platt, F., Abrams, H.: "A clinical evaluation of coronary arteriography", Amer J Med, 42, 228, 1967.
- 10) Kaltenbach, M.: "Die Belastungsuntersuchung von Herzkranken" in der Studienreihe Boehringer Mannheim: "Kardiologische Diagnostik", S. 1ff., Mannheim, Boehringer Mannheim GmbH, 1974.
- 11) Kaltenbach, M., Klepzig, H.: "Das EKG während Belastung und seine Bedeutung für die Erkennung der Koronarinsuffizienz", Z. Kreisl. Forschg., 52, 486, 1963.
- 12) Kaltenbach, M., Becker, H.J., Kollath, J., Spitz, E., Kober, G.: "Exercise electrocardiogram and selective coronary arteriography" in Kaltenbach, M., Lichtlen, P.: "Coronary Heart Disease", Internat. Symposium, Frankfurt/M., Stuttgart, Georg Thieme Verlag, 1971.
- 13) Kassebaum, D.G., Sutherland, K.J., Judkins, M.P.: "A comparison of hypoxemia and exercise electrocardiography in coronary artery disease: Diagnostic precision of the methods correlated with coronary angiography", Amer Heart J, 75, 759, 1968.

- 14) Kirchhoff, H.-W.: "Praktische Funktionsdiagnostik des Herzens und Kreislaufs", München, J.A. Barth, 1965.
- 15) Klepzig, H., Müller, D., Reindell, H.: "Über das EKG während Belastung und seine klinische Bedeutung", Z.Kreisl.Forschg., 45, 741, 1956.
- 16) Köhler, J.A.: "Kardiologisches Seminar", S. 39ff., Baden-Baden, Verlag Gerhard Witzstrock GmbH, 1973.
- 17) Krüger, K.: "Die ischämische Herzerkrankung", S. 2ff., Frankfurt, Farbwerke Hoechst AG.
- 18) Lepeschkin, E., Surawicz, B.: "Characteristics of true-positive and false-negative results of electrocardiographic Master two-step exercise tests", New Engl.J.Med., 258, 511, 1958.
- 19) Likoff, W., Kasparian, H., Segal, B.L., Forman, H., Novak, P.: "Coronary arteriography: Correlation with electrocardiographic response to measured exercise", Amer J Cardiol, 18, 160, 1966.
- 20) Lloyd-Thomas, H.G.: "The effect of exercise on the electrocardiogram in healthy subjects", Brit. Heart J., 23, 561, 1961.
- 21) Martin, C.M., Mc Conahay, D.R.: "Maximal treadmill exercise electrocardiography: Correlations with coronary arteriography and cardiac hemodynamics", Circulation 46, 956, 1972.
- 22) Master, A.M., Rosenfeld, J.: "The 2-step exercise test brought up to date", N.Y.St.J.Med. 61, 1850, 1961.
- 23) Mattingly, T.W.: "The postexercise electrocardiogram: its value in the diagnosis and prognosis of coronary arterial disease", Amer J Cardiol, 9, 395, 1962.
- 24) Mc Henry, P.L., Lisa, C.P., Knoebel, S.B.: "Correlation of treadmill exercise electrocardiogram with arteriographic location of coronary disease", Amer J Cardiol, 26, 649, 1970.
- 25) Mc Henry, P.L., Philipps, J.F., Knoebel, S.B.: "Correlation of computer-quantitated treadmill exercise electrocardiogram with arteriographic location of coronary artery disease", Amer J Cardiol, 30, 747, 1972.
- 26) Mc Conahay, D.R., Mc Callister, B.D., Smith, R.E.: "Postexercise electrocardiography: Correlations with coronary arteriography and left ventricular hemodynamics", Amer J Cardiol, 28, 1, 1971.
- 27) Most, A.S., Kemp, H.G., Gorlin, R.: "Postexercise electrocardiography in patients with arteriographically documented coronary artery disease", Ann Intern Med, 71, 1043, 1969.

- 28) Robb,G.P., Marks,H.H.: "Postexercise electrocardiogram in arteriosclerotic heart disease: its value in diagnosis and prognosis", JAMA,200,918,1967.
- 29) Roitman,D., Jones,W.B., Sheffield,T.L.: "Comparison of submaximal exercise ECG test with coronary cine-angiogram", Ann Intern Med,72,641,1970.
- 30) Roskamm,H.: "Das Belastungs-EKG", erschienen in der Studienreihe Boehringer Mannheim, S.1ff., Mannheim, Boehringer Mannheim GmbH,1968.
- 31) Roskamm,H., Reindell,H., Novakovic,N., Büchner,Ch., Blümchen,G.: "Die klinische Bedeutung des Elektrokardiogramms während Ergometerbelastung", Das Ärztliche Laboratorium,9,277,1963.
- 32) Rutishauser,W., Krayenbühl,H.P., Wirz,P., Lüthy,E.: "Koronarkreislauf" in Siegenthaler,W.: "Klinische Pathophysiologie", S.535ff., S.489ff., Stuttgart, Georg Thieme Verlag,1973,2.Aufl..
- 33) Sachs,L.: "Statistische Methoden", S.44ff., Berlin, Springer-Verlag,1972,2. Aufl..
- 34) So,C.S.: "Praktische Elektrokardiographie", S.25ff., S.106ff., Planegg, Selecta Verlag,1974.
- 35) Thorspecken,R., Wolter,H.H.: "Elektrische Erscheinungen des Herzens" in Siegenthaler,W.: "Klinische Pathophysiologie", S.553ff., Stuttgart, Georg Thieme Verlag, 1973,2.Aufl..
- 36) Zimmermann,W.: "Was ist gesichert in der Diagnostik der Koronarinsuffizienz: Koronarangiographie", Fortschr.d.Med.,90,884,1972.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. O. Michel für das Thema, für die Bereitstellung des Untersuchungsmaterials und für seine wertvollen Ratschläge bedanken. Den Oberärzten Dr. G. Alber und Dr. W. Zimmermann danke ich für ihre bereitwillige Auskunft auf Fragen, Schwester H. Breitwieser, J. Popelka und I. Tykal aus dem EKG-Labor der Stiftsklinik Augustinum für ihr freundliches und hilfsbereites Entgegenkommen und Herrn R. Pawelke für die Zusammenarbeit bei der EKG-Auswertung. Mein besonderer Dank gilt meinem Vater H. Barwitz und Frl. O. Ritter für die unermüdliche Hilfe bei der Datenaufarbeitung, Herrn H.-D. Steinhöfer für Ratschläge und Durchführung der Datenverarbeitung und schließlich meiner Mutter Th. Barwitz für das Korrekturlesen.

Lebenslauf

von

Harald Jürgen Karl Barwitz

Ich wurde am 4.5.1949 in Kempten/Allgäu als Sohn von Horst und Theresia Barwitz, geb. Halbritter geboren. In den Jahren von 1955 bis 1959 besuchte ich die Volksschule am Haubenschloß in Kempten, von 1959 bis 1968 war ich am Allgäu - Gymnasium in Kempten, wo ich den mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig einschlug. Mit abgeschlossenem Abitur erwarb ich das Hochbegabtenstipendium nach dem Bay.BFG. und später die Mitgliedschaft in der Studienstiftung des Deutschen Volkes. Ich studierte an der Ludwig-Maximilians-Universität München ein Semester Mathematik und Physik und zwei Semester Jura, ehe ich im Wintersemester 70/71 das Medizinstudium aufnahm. Ich legte die naturwissenschaftliche Vorprüfung im September 1971 und die ärztliche Vorprüfung im April 1973 ab. Am 23.6.1975 beendete ich an der Universität München mein Staatsexamen.

